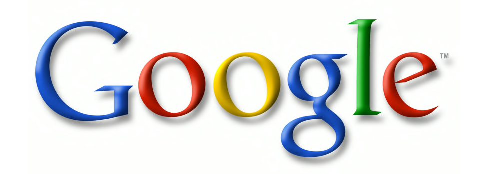
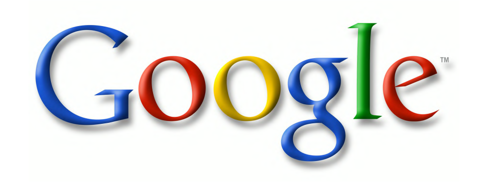
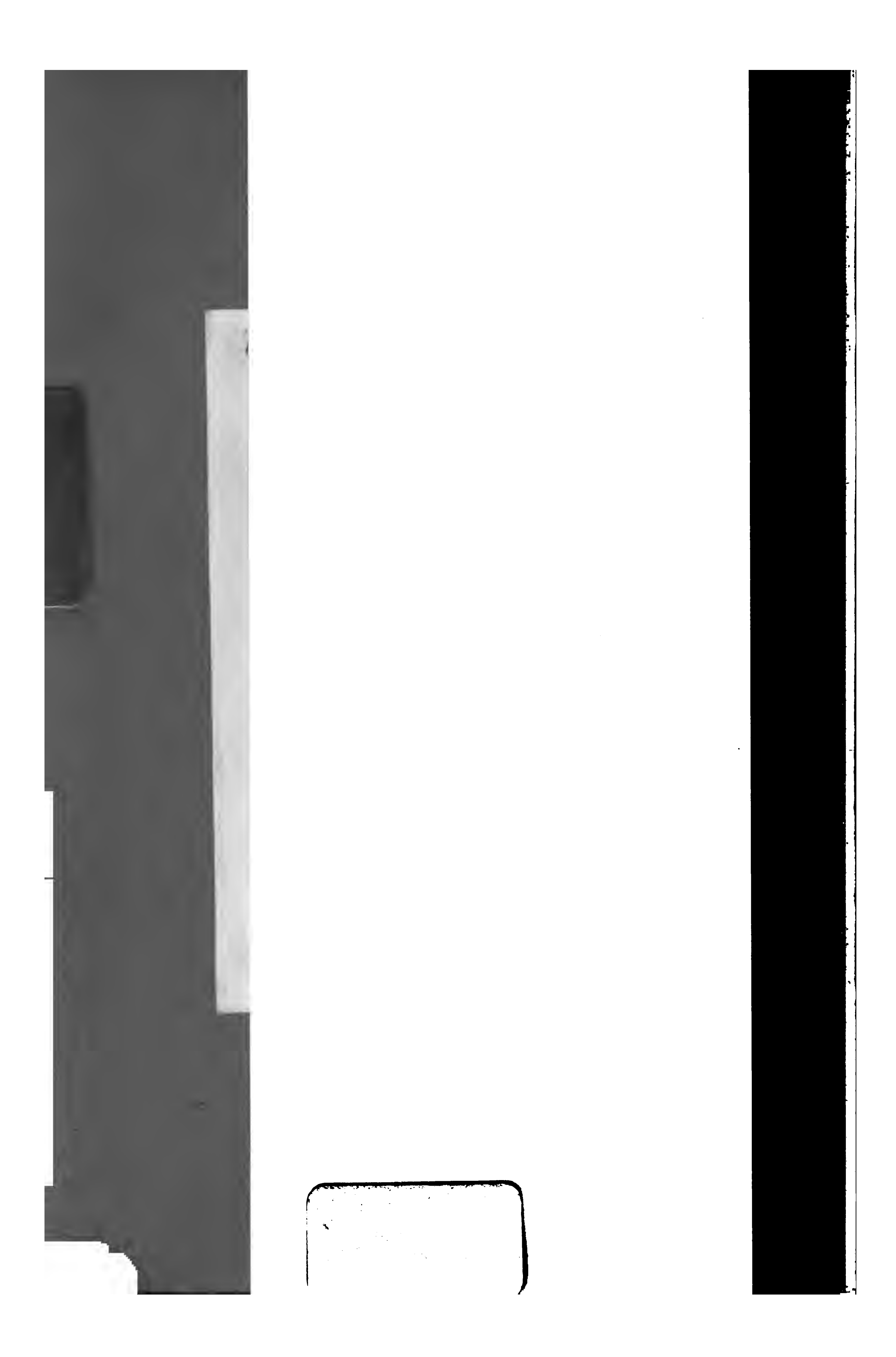







UES





LES

TRAMWAYS

ÉLECTRIQUES

LES

TRAMWAYS
ÉLECTRIQUES

DISPOSITIONS GÉNÉRALES — VOIE
TRAMWAYS A CONDUCTEURS AÉRIENS, SOUTERRAINS
ÉTABLIS AU NIVEAU DU SOL
TRAMWAYS A ACCUMULATEURS — MATÉRIEL ROULANT
STATIONS CENTRALES — DÉPENSES

PAR

HENRI MARÉCHAL
Ingénieur des Ponts et Chaussées
Ingénieur de la Première Section des Travaux de Paris
et du Secteur municipal d'Électricité.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE
—
1897

Engineering appropriation.

~~108.14~~
22.4
9

PRÉFACE

L'électricité, qui nous éclaire et qui se distribue maintenant dans les rues avec autant de facilité que l'eau ou le gaz, peut aussi remorquer nos tramways et se substituer avantageusement, non seulement à la traction à chevaux si lente et si incommode, mais encore à la plupart des systèmes de traction mécanique généralement acceptés dans les villes.

Aux Etats-Unis, il existe aujourd'hui des milliers de tramways électriques et partout on a constaté leur influence heureuse sur le développement industriel et commercial des cités.

Il est vrai que les Américains ne se sont pas contentés de modifier radicalement leur système de traction ; ils ont rompu également avec les antiques procédés d'exploitation empruntés à l'Europe et qui ne pouvaient convenir ni à leur activité, ni à leurs habitudes.

Sauf quelques exceptions, nous en sommes encore en France aux tramways à chevaux.

Mais ils nous paraissent aujourd'hui insupportables et l'on peut prévoir que, prochainement, ils auront à peu près disparu.

Les tramways électriques se recommandent, pour cette transformation, par des qualités indiscutables.

Mais, parmi les divers systèmes de tramways électriques, quels sont ceux que l'on devra préférer ?

C'est là une question qui ne peut être résolue que dans chaque cas particulier.

Les tramways à conducteurs aériens sont de beaucoup les plus économiques, mais ils ne sont pas acceptés partout, bien que l'on sache aujourd'hui atténuer très sensiblement les inconvénients que présentent certaines installations, au point de vue de l'esthétique et de l'encombrement des rues.

A défaut de ce système, on peut avoir recours soit aux tramways à conducteurs interrompus établis au niveau du sol, soit aux tramways à conducteurs souterrains.

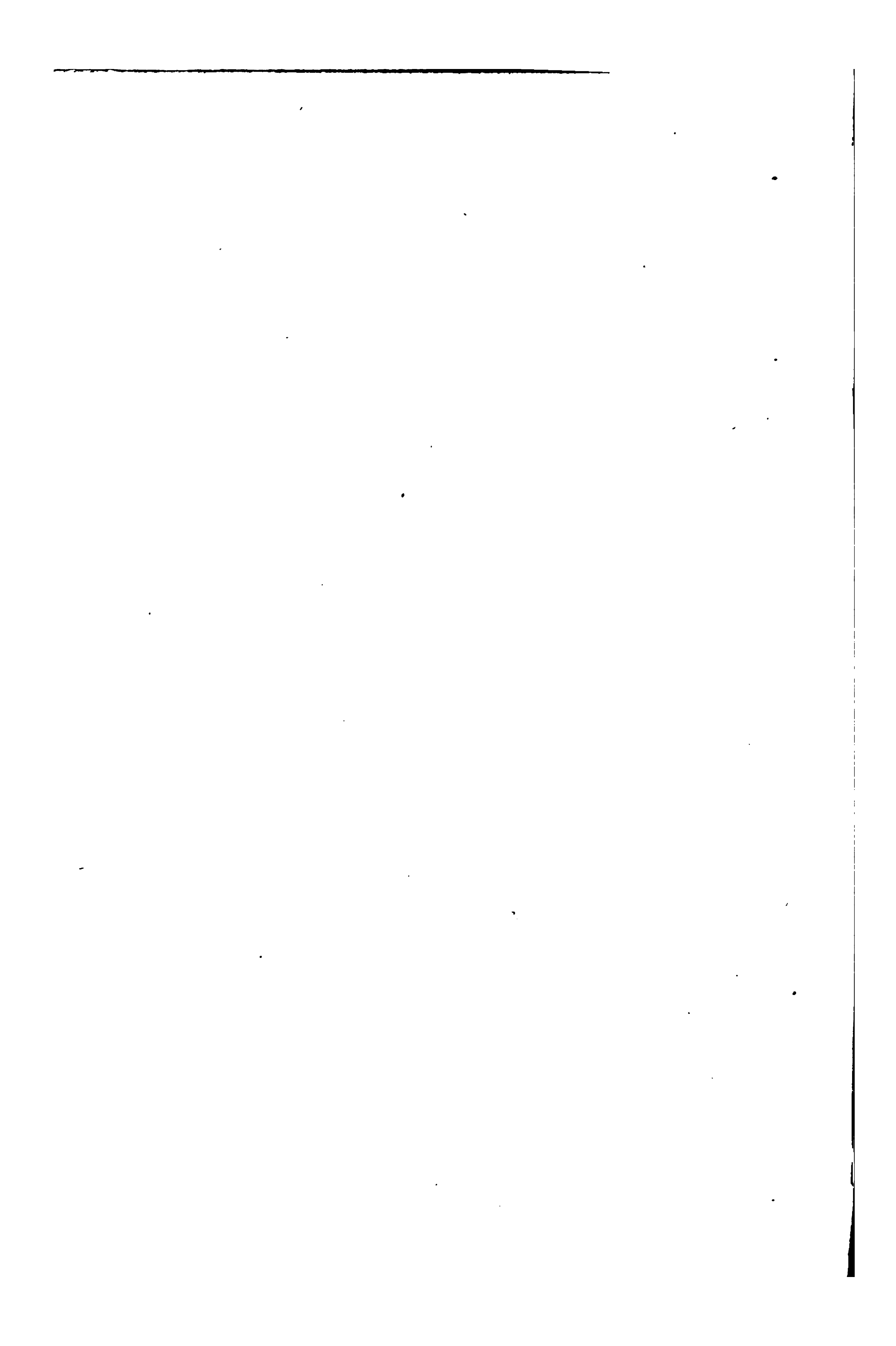
Les tramways à accumulateurs conviennent pour des cas spéciaux.

Enfin, on a encore la ressource de combiner entre eux ces divers systèmes, de manière à les concilier avec les exigences locales.

Nous avons résumé et coordonné dans cet ouvrage tout ce qui a été fait de plus intéressant et de plus pratique jusqu'ici en matière de tramways électriques.

Si succinct soit-il, il suffira, pensons-nous, pour que l'on puisse se rendre compte des avantages si marqués de ce système de traction et de la solution remarquablement satisfaisante qu'il apporte à la question des transports en commun dans les villes.

H. M.



LES

TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

Caractéristique d'un tramway électrique. — Tramways à conducteur aérien et trolley. — Tramways à conducteur aérien et archet. — Tramways à conducteurs souterrains. — Tramways à conducteurs interrompus établis au niveau du sol. — Tramways à accumulateurs. — Systèmes mixtes. — Courants employés pour la traction des tramways : (*a*) Courants continus ; (*b*) Courants alternatifs et polyphasés. — Alimentation des lignes par un transport de force.

Caractéristique d'un tramway électrique. — Un *tramway électrique* est caractérisé par l'emploi de *moteurs électriques*, généralement placés sous la caisse des voitures et actionnant les essieux soit directement, soit par l'intermédiaire de bielles, de chaînes ou d'engrenages.

La puissance du moteur électrique dépend de l'effort de traction à produire et de la vitesse à réaliser. La tendance actuelle est d'employer des moteurs puissants, afin de faciliter les démarrages et de permettre le maintien de la vitesse normale dans les parties les plus accidentées des voies.

Les moteurs les plus employés sont de 20 à 25 chevaux.

Si l'on veut disposer d'une puissance plus considérable, on se sert de deux moteurs, à raison d'un par essieu.

Deux moteurs peuvent être aussi nécessaires, quand la voiture doit fonctionner, non seulement comme *automobile*, mais encore comme *voiture motrice*. On accroche alors à l'automobile une ou plusieurs voitures ordinaires et l'on peut ainsi former de véritables trains.

On doit recommander d'être très large dans le choix des moteurs. Il faut, en effet, compter avec un accroissement possible du trafic (accroissement certain, d'ailleurs, quand on substitue la traction électrique à la traction à chevaux [1]) et avec une surcharge extraordinaire, comme il peut s'en produire à certains moments (fêtes, retour de courses, sortie des ateliers, etc...).

Aux Etats-Unis, on adopte, généralement, pour une automobile d'hiver de 50 places, 2 moteurs de 25 chevaux. En été, comme la voie est meilleure et que le matériel est plus léger (voitures découvertes), on se contente souvent d'un seul moteur de 25 chevaux.

Un moteur électrique ne peut fonctionner qu'à la condition d'être réuni à une source permanente d'électricité.

Si le tramway porte avec lui une batterie d'accumulateurs, l'alimentation se fait très simplement, en réunissant le moteur et la batterie, pôle à pôle.

Mais si la source d'électricité est constituée par une ou plusieurs *dynamos* installées dans une usine fixe, comme

[1] Au Havre, le trafic a augmenté de 70 p. 100; à Lyon, de 43 p. 100.

c'est le cas le plus fréquent, il faut prendre des dispositions spéciales, pour que la voiture puisse communiquer, d'une façon continue, pendant sa marche, avec la source d'électricité.

A cet effet, on emploie l'une des dispositions que nous allons examiner.

Tramways à conducteur aérien et trolley. — Le courant produit par l'usine ou station centrale est lancé dans un

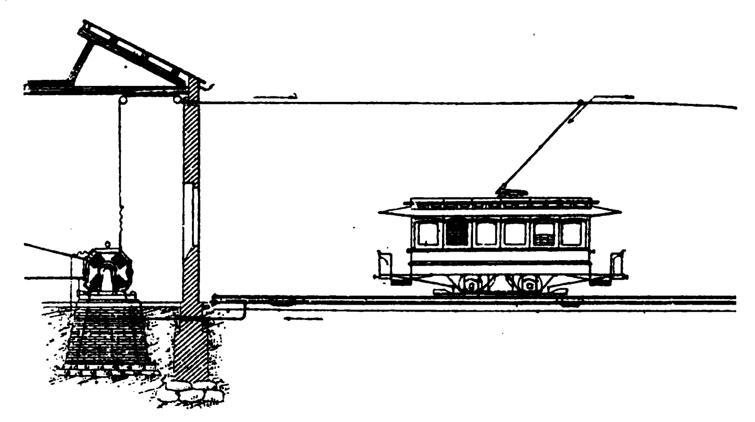


Fig. 1. — Tramway à conducteur aérien et trolley.

conducteur en cuivre, en bronze siliceux ou plus rarement en acier, placé au-dessus ou sur le côté des voies (fig. 1).

Sur ce conducteur roule un *trolley*, c'est-à-dire une roulette en bronze qui est fixée au bout d'un long bras métallique, monté sur le toit de la voiture[1]. Un puissant ressort tend à ramener ce bras verticalement. Il en est empêché par le

[1] Quelquefois on a remplacé la roulette par un frotteur. Nous citerons plus loin des exemples (ch. III).

conducteur sur lequel il vient presser fortement. Par ce contact ainsi établi le courant entre dans la voiture. Il gagne le ou les moteurs par des câbles isolés et sort par les roues.

Dans le système à conducteur aérien, on prend ordinairement les rails comme conducteur de retour, pour ramener le courant à l'usine.

On s'évite ainsi un second conducteur et un second trolley [1]. Mais il faut prendre des dispositions spéciales pour assurer la continuité du circuit. Dans ce but on complète les éclissages ordinaires (qui sont exclusivement combinés pour assurer la rigidité des voies), par des *éclissages électriques*, en cuivre étamé. Si le courant est très intense, on adjoint même, aux rails, un conducteur continu, enfoui dans le sol, et auquel on relie les éclissages électriques.

On ne saurait trop conseiller d'assurer une continuité parfaite du circuit de retour.

S'il n'en était pas ainsi, le courant électrique pourrait revenir à l'usine en suivant les conduites d'eau ou de gaz et l'on aurait à craindre (du moins avec les courants continus qui sont de beaucoup les plus employés pour la traction des tramways) de graves *actions électrolytiques*.

Les conducteurs aériens, si l'on veut qu'ils n'aient pas un aspect très choquant, ne doivent pas avoir un diamètre supérieur à 8 à 9 millimètres.

La résistance qu'ils offrent au passage du courant est loin d'être négligeable. On sait que lorsqu'un courant électrique

[1] Une ou deux lignes seulement sont à deux trolleys.

d'intensité I (évaluée en *ampères*) passe dans un conducteur de résistance R (laquelle s'évalue en *ohms*) il se produit une perte de voltage égale à RI.

Pour que, sur une ligne donnée, la tension soit sensiblement constante en tous les points et, d'autre part, pour n'avoir pas à augmenter le diamètre des conducteurs aériens (car la résistance d'un conducteur décroît quand son diamètre augmente), on est conduit, dès que le courant à écouler I est considérable, à alimenter le fil aérien de distance en distance par des *feeders*, conducteurs de gros diamètres qui relient directement à l'usine la section à alimenter.

Ces feeders peuvent se placer sur le côté des voies et être constitués par des câbles nus, montés sur isolateurs. Mais, dans la traversée des villes, on exige ordinairement (même aux Etats-Unis) qu'ils soient cachés sous la chaussée ou sous les trottoirs. Le mieux, alors, est de les constituer par des *câbles armés et isolés*.

Quand le réseau est très chargé, des *feeders de retour* peuvent également être nécessaires. On verra plus loin quelles sont les dispositions à prendre, pour assurer un bon retour du courant.

Tramways à conducteur aérien et archet. — Ce système, qui est surtout employé en Allemagne, ne diffère du précédent que par le mode de captation du courant.

Le trolley est remplacé par un cadre métallique (fig. 2) dont le montant supérieur appuie constamment contre le conducteur aérien. Au frottement de roulement on substitue

ainsi un frottement de glissement. L'usure produite est certainement plus considérable; mais nous indiquerons ultérieurement comment on peut atténuer les inconvénients qui en résultent.

L'avantage principal de l'archet, c'est qu'il dispense

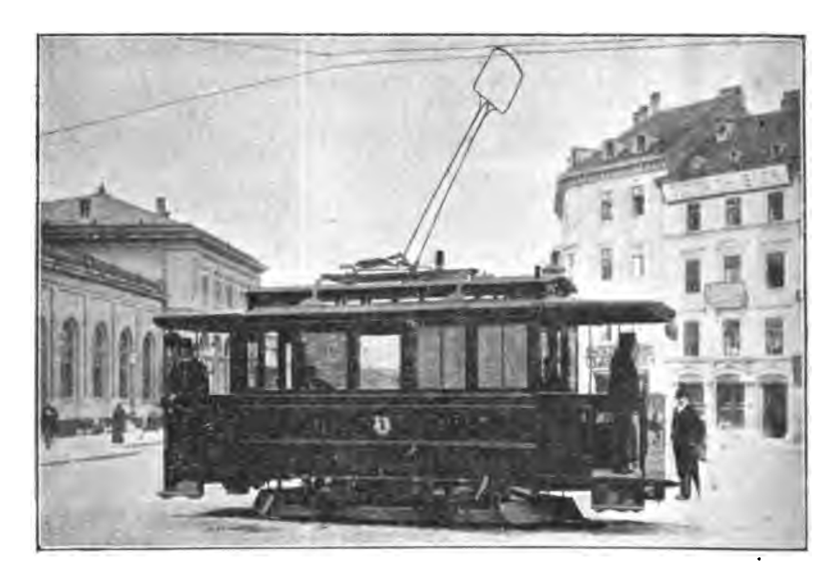


Fig. 2. — Tramway à conducteur aérien et archet.

d'établir les conducteurs aériens parallèlement à l'axe des voies. Aussi, dans les courbes, peut-on substituer aux tracés sensiblement curvilignes qui s'imposent avec le trolley, un tracé formé de longs éléments droits coïncidant avec les côtés d'un polygone inscrit ou circonscrit à la courbe. On diminue ainsi notablement le nombre des haubans tendeurs et des poteaux.

La construction des aiguillages et des croisements se trouve aussi sensiblement facilitée.

Tramways à conducteurs souterrains. — Dans ce système les conducteurs, qui distribuent le courant, sont placés, sur isolateurs, dans un caniveau construit sous la chaussée. Ce caniveau est ouvert suivant une fente longitudinale par laquelle passe la pièce qui doit amener le courant à la voiture.

Les conducteurs étant souterrains, leur diamètre importe peu. Aussi adopte-t-on, le plus souvent, par raison d'économie, des conducteurs en fer auxquels on donne des formes appropriées aux pièces qui doivent les supporter. De même, on peut profiter de l'espace disponible dans le caniveau pour y installer un conducteur de retour. Les actions électrolytiques, dues aux fuites du courant, sont alors complètement évitées.

La prise de courant se fait soit par frottement, soit par roulement. Il faut, avec deux conducteurs, deux frotteurs ou deux trolleys. Le courant, partant du conducteur positif, ou d'aller, va par un fil isolé dans la voiture; il traverse le moteur et par un autre fil isolé est ramené au conducteur négatif ou de retour.

Avec le caniveau souterrain il faut évidemment que la rainure soit indéformable. Il est indispensable, en outre, d'assurer une évacuation rapide de l'eau, de la neige et des produits du balayage.

Tramways à conducteurs interrompus établis au niveau

du sol. — Le conducteur servant à la distribution du courant ne peut être établi au niveau du sol qu'autant que l'on a pris des dispositions spéciales pour empêcher toute déperdition de l'électricité.

On doit aussi se préoccuper de rendre tout contact impossible entre les conducteurs, quand ils sont en charge, et les passants.

A cet effet, le conducteur proprement dit est complètement caché sous la chaussée ou sous les trottoirs. Par une série de branchements, également souterrains, il communique avec des *plots* ou des *pavés* métalliques, isolés, arasés à 1 ou 2 centimètres au-dessus du sol et placés à demeure entre les voies. Sous la voiture un long frotteur est disposé de manière à glisser sur les plots ou les pavés; sa longueur est telle que lorsqu'il quitte l'une des pièces de contact il est déjà, par son autre extrémité, sur la pièce suivante.

On conçoit que si, par un artifice quelconque, on met les plots ou les pavés en charge au moment où ils sont couverts par la voiture et à ce moment-là seulement, on satisfera à la double condition énoncée plus haut.

On arrive à ce résultat à l'aide de *distributeurs* qui sont placés sous chaussée ou sous trottoirs et qui peuvent commander un ou plusieurs contacts.

Dans ce système le courant fait retour à l'usine par les rails. Mais rien ne serait plus facile, en employant doubles plots ou doubles pavés, que d'envoyer le courant de retour dans un conducteur spécial.

On désigne souvent les tramways à conducteur établi au

niveau du sol sous le nom de *tramways à contacts électro-magnétiques*. C'est en effet à l'aide d'électro-aimants que les distributeurs mettent les conducteurs en charge au moment voulu. Mais il pourrait en être autrement.

Tramways à accumulateurs. — Nous avons déjà indiqué ce système. C'est évidemment l'un des plus simples que l'on puisse imaginer, Il permet en outre d'appliquer la traction électrique, sans grandes dépenses d'infrastructure, aux lignes de tramways fonctionnant avec des chevaux. Si les voies sont très résistantes elles pourront même être conservées telles quelles.

Mais les accumulateurs ont certains inconvénients qui ont jusqu'ici restreint beaucoup leur emploi.

Toutefois, à la suite de progrès récents réalisés dans leur fabrication, plusieurs installations intéressantes viennent d'être effectuées.

Systèmes mixtes. — On peut, sur une même ligne, adopter telle ou telle combinaison des systèmes que nous venons d'examiner.

Ainsi, dans les villes où l'on est absolument hostile au trolley, on emploiera, pour les lignes venant de la banlieue, le fil aérien jusque dans les faubourgs et l'on marchera au delà avec des conducteurs souterrains. Il suffira de s'arrêter quelques secondes, au point de passage, pour accrocher aux voitures le frotteur ou la roulette qui doivent prendre le courant sur les conducteurs souterrains (Washington). On a même combiné des appareils qui se mettent

instantanément en place, sans qu'il soit nécessaire d'arrêter la voiture (Berlin).

On pourrait également recourir dans ce cas à la traction par accumulateurs, en chargeant ceux-ci extra-muros avec le courant même de la ligne à trolley (Hanovre, Dresde).

De même on peut, en employant simultanément le système à trolley et la traction par accumulateurs, éviter les inconvénients que présentent les conducteurs aériens sur les places, dans les courbes, etc.

Soient, par exemple, deux grandes avenues rectilignes se croisant à angle droit. On marchera en alignement droit avec des câbles aériens. Et, pour franchir le coude brusque, formé par les avenues, on se servira d'une petite batterie d'accumulateurs que l'on chargera, avec le courant même de la ligne, dans les autres parties du tracé.

On pourrait aussi, dans des cas analogues, combiner le système des conducteurs aériens avec le système des conducteurs établis au niveau du sol, etc.

Courants employés pour la traction des tramways. — (a). *Courants continus.* — Les courants les plus employés pour la traction des tramways sont les *courants continus.* Leur distribution se fait à potentiel constant. La tension varie de 300 à 500 volts (550 volts à l'usine).

Avec un courant d'intensité I (en ampères) et de tension E (en volts) la puissance disponible à chaque instant est égale à $E \times I$ (en watts). On voit que, pour une intensité donnée, elle est proportionnelle à E. Comme d'autre part, d'après

ce que nous avons vu plus haut, la perte en ligne RI ne dépend que de I (et non de E), on augmentera la puissance disponible, sans augmenter la perte en ligne, en augmentant la tension.

On ne dépasse pas 500 volts parce qu'au delà le courant deviendrait trop dangereux.

La perte en ligne généralement consentie est de 10 p. 100 de la puissance disponible. Avec les conducteurs ordinaire-

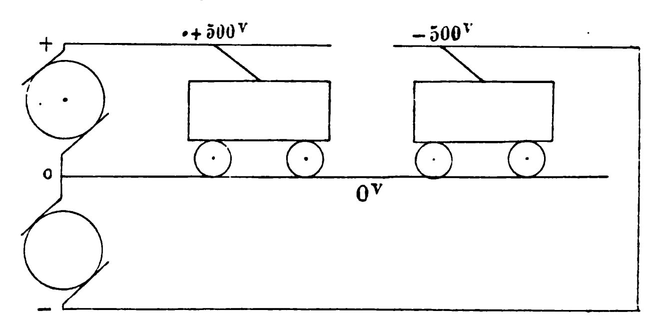


Fig. 3.
Alimentation d'une ligne de tramways par une distribution à trois fils.

ment employés on peut, sur un réseau peu chargé, distribuer du courant à 500 volts sur une longueur de 4 à 5 kilomètres.

Au delà, si l'on ne veut pas avoir recours à des feeders coûteux, il faut adopter le système à trois fils (Portland, États-Unis).

Soient deux dynamos produisant du courant à 500 vols (fig. 3). Réunissons le pôle positif de l'une au pôle négatif de l'autre (ce que l'on appelle monter les dynamos *en série*) et branchons sur le pôle commun et sur les pôles extrêmes trois conducteurs formant deux ponts sur lesquels on dis-

posera des appareils utilisateurs de courant (les moteurs des voitures, par exemple). Si l'on réunit le conducteur médian (fil neutre) à la terre, les fils extrêmes seront l'un à + 500 volts et l'autre à — 500 volts, et cependant on aura fabriqué du courant à 2×500 volts $= 1000$ volts. On pourra donc, de cette façon, augmenter sensiblement le rayon d'action de l'usine génératrice.

Le système s'applique, sur les tramways, en prenant les rails comme fil neutre et (si la ligne est à double voie) l'un des conducteurs aériens comme fil positif à 500 volts et l'autre comme fil négatif à — 500 volts. On pourrait aussi diviser la ligne aérienne en une série de sections consécutives, alternativement à 500 volts et à —500 volts.

Ce dernier système doit forcément être employé si la ligne est à voie unique à moins que, pour une même voie, on veuille adopter deux conducteurs et deux trolleys.

Les distributions à trois fils présentent d'autres avantages.

Si les moteurs sont également répartis sur chacun des ponts, le courant ira seulement d'un moteur à l'autre, sans faire retour à l'usine. Or c'est le cas le plus général des lignes de tramways, où l'on rencontre presque toujours autant de voitures montantes que de voitures descendantes. Il est clair que, dans ces conditions, le chemin suivi par le chemin de retour sera bien moins considérable que s'il lui fallait, comme dans une distribution ordinaire, revenir en totalité à l'usine. Les risques de décomposition, électrolytique, se trouveront, de cette façon, grandement diminués.

Si les ponts sont inégalement chargés, une certaine quan-

tité d'électricité circulera entre les points où la consommation est inégale et l'usine. Mais elle sera peu importante, puisqu'elle sera égale à la différence des quantités d'électricité circulant dans chaque pont.

Lorsque, par suite de l'éloignement de l'usine, le système à trois fils devient lui-même inapplicable, il faut avoir recours à un transport de force[1]. Nous examinerons ce cas un peu plus loin.

(b). *Courants alternatifs et polyphasés.* — Dans un courant alternatif la tension varie, à chaque instant, suivant une loi sinusoïdale. Si E est la tension maxima, T la durée d'une variation complète (ce que l'on appelle *période* du courant), la tension est représentée à chaque instant t par l'expression

$$e = E \sin \frac{2\pi}{T} t$$

que l'on écrit souvent

$$e = E \sin \omega t$$

en posant $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

On peut représenter graphiquement un courant alternatif de deux façons :

1° On prend deux axes de coordonnées rectangulaires et l'on porte les tensions en ordonnée et les temps (mesurés en secondes) en abscisse. La courbe obtenue est alors une sinusoïde (fig. 4).

2° Considérons un cercle de rayon égal à E (fig. 5) et supposons qu'un rayon OA tourne autour du centre O avec

[1] Il a été aussi fait quelquefois usage de *survolteurs*, appareils qui relèvent la tension en différents points du réseau.

la vitesse angulaire ω. Si nous comptons le temps à partir de la position OX, l'angle AOX sera égal à ωt, t étant le temps mis par le rayon mobile pour tourner de l'angle AOX. Abaissons AB perpendiculaire sur le diamètre YY′ perpendiculaire lui-même à OX. On aura

$$OB = E \sin \omega t$$

Donc OB représente, à l'instant t, la valeur de la tension du courant alternatif.

Par conséquent, on obtiendra les valeurs successives de e

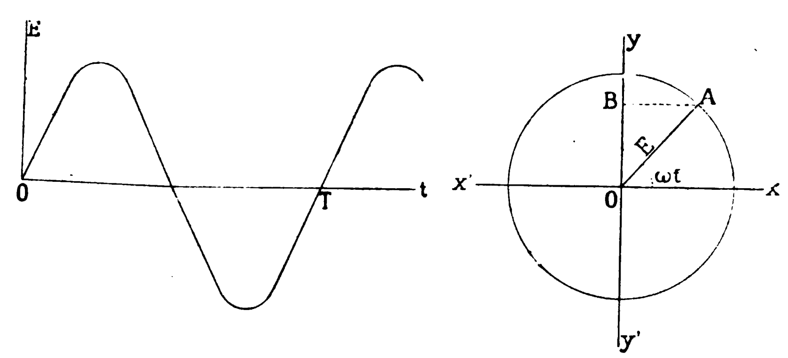


Fig. 4. — Représentation graphique d'un courant alternatif.

Fig. 5. — Représentation d'un courant alternatif par un vecteur.

en faisant tourner $OA = E$ autour de O avec la vitesse angulaire ω et en projetant OA sur YY′.

C'est ce qui constitue la représentation du courant alternatif par *vecteur*.

Cette représentation est très employée, car elle permet de composer deux tensions alternatives par la méthode du parallélogramme des forces.

Ainsi, soit à ajouter deux tensions alternatives, de même période, OA_1 et OA_2 (fig. 6). Menons le parallélogramme OA_1RA_2 et projetons A_1 A_2 et R sur YY′. On a $OR_1 = OB_1 + OB_2$.

Donc OR est le vecteur de la tension résultante.

Dans un circuit à tension alternative l'intensité est elle-même alternative ; mais elle n'est pas en concordance de phase avec la tension. Le fait est dû à la *self-induction* du circuit. Soit I l'intensité maxima. On aura :

$$e = E \sin \omega t \qquad i = I \sin (\omega t - \varphi)$$

On peut également représenter cette intensité par un vec-

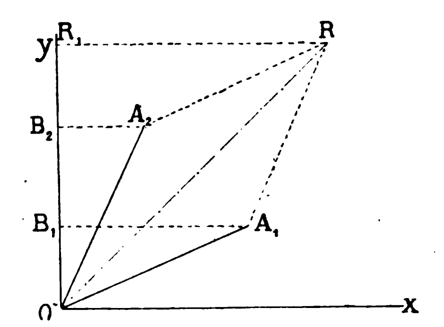


Fig. 6. — Composition des vecteurs.

Fig. 7. — Décalage de l'intensité.

teur (fig. 7). On voit que ce vecteur sera en retard (ou décalé) de l'angle φ par rapport à la tension.

Il faut distinguer, dans une distribution de courants alternatifs, les valeurs moyennes et efficaces de la tension et de l'intensité. On a :

$$E \text{ moy.} = 0{,}637\ E \qquad I \text{ moy.} = 0{,}637\ I$$
$$E \text{ effic.} = 0{,}707\ E \qquad I \text{ effic.} = 0{,}707\ I$$

Les instruments employés pour la mesure des courants alternatifs donnent généralement E effic. et I effic. Aussi sont-ce généralement ces valeurs, à l'exclusion de E et de I ou de E moy. et de I moy., que l'on considère dans une distribution à courant alternatif. Sauf indication contraire, un courant alternatif à 1 000 volts, par exemple, est un courant dont la tension efficace est de 1 000 volts.

Les intensités et les tensions efficaces peuvent se combiner par la méthode vectorielle puisqu'ils ne diffèrent de I et de E que par des facteurs constants.

La puissance moyenne disponible sur un réseau à courant alternatif est

$$P \text{ moy.} = \frac{1}{2} \text{ E.I} \cos \varphi = \text{E effic.} \times \text{I effic.} \cos \varphi$$

Elle est donc moindre que s'il s'agissait d'un courant continu, puisque, dans ce cas, cette puissance serait égale à E I.

C'est déjà là une première cause d'infériorité des courants alternatifs sur les courants continus.

Ils ont en outre le défaut de se prêter moins facilement à la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique. Ainsi les moteurs à courant alternatif *ne démarrent pas généralement sous charge*, vice rédhibitoire pour l'exploitation des tramways.

Mais on évite cet inconvénient en employant simultanément plusieurs courants alternatifs convenablement décalés. Ainsi, à Lugano (Suisse), la distribution se fait par *courants triphasés*, ensemble de trois courants alternatifs décalés d'un tiers de période.

Les vecteurs représentatifs sont, dans ce cas, trois droites égales OA_1, OA_2, OA_3 faisant entre elles un angle de $\frac{2\pi}{3}$ (fig. 8).

On voit que la résultante OR de OA_1 et OA_2 est égale et directement opposée à OA_3. Par conséquent, si l'on a (fig. 9) trois conducteurs A_1, A_2, A_3, dans lesquels sont lancés des courants triphasés, en réunissant les conducteurs à un même point O, on aura en ce point une tension nulle et l'on n'aura pas besoin de *conducteur de retour*.

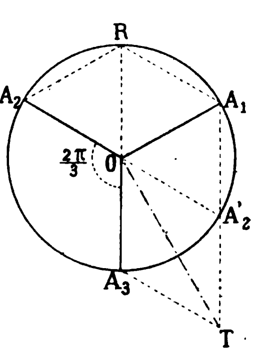


Fig. 8. — Vecteurs d'un courant triphasé.

Pour distribuer des courants triphasés, trois conducteurs seulement sont nécessaires. On peut prendre les rails pour l'un de ces conducteurs. Il suffira alors d'installer, au-dessus de chaque voie, deux conducteurs aériens. Dans ces conditions il faudra également monter deux trolleys par voiture.

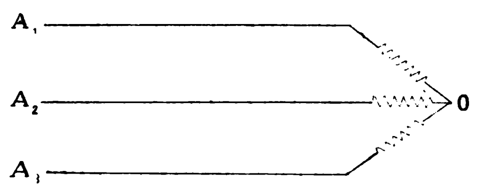


Fig. 9. — Distribution d'un courant triphasé.

On peut reprocher à cette disposition d'accentuer les inconvénients des conducteurs aériens. Mais on doit remarquer que le caniveau se prêterait parfaitement à l'utilisation

de courants triphasés. Les rails et les deux conducteurs souterrains formeraient alors les trois conducteurs nécessaires pour la distribution du courant.

On pourrait adopter une disposition analogue avec des courants biphasés, c'est-à-dire avec deux courants alternatifs décalés d'un quart de période. Les rails serviraient de fil de retour, car, dans ce cas, la résultante des courants n'est plus nulle.

Les courants alternatifs ne peuvent occasionner de décompositions électrolytiques[1]. Mais il faut prendre certaines précautions pour qu'ils n'influencent pas les réseaux téléphoniques ou télégraphiques situés dans le voisinage.

On doit en outre signaler qu'à tension égale les courants alternatifs sont plus dangereux que les courants continus. A Lugano la tension employée est de 400 volts. Cette tension nous paraît élevée. (En France on adopterait au maximum 150 volts ; mais cette tension limite est trop faible.)

Au sujet de cette tension nous avons une remarque à faire. Il ne s'agit pas (fig. 8) de la tension représentée par chaque vecteur. Il s'agit de la tension par rapport à la terre c'est-à-dire par rapport à l'un des conducteurs, A_3 par exemple. Pour l'obtenir il faut retrancher OA_2 ou OA_1 de OA_3. En appliquant toujours le parallélogramme des forces, nous prolongerons OA_2 en sens inverse, nous prendrons $OA'_2 = OA_2$ et la résultante sera la diagonale OT du parallélogramme $OA_3TA'_2$.

[1] Du moins avec les tensions généralement employées pour la traction des tramways.

A Lugano c'est donc O T qui est égal à 400 volts. Chacun des courants alternatifs constitutifs du courant triphasé, considéré isolément, n'a au contraire qu'une tension égale à $OA_1 = \frac{OT}{\sqrt{3}} = 231$ volts.

Alimentation des lignes par un transport de force. — Les transports de force peuvent s'exécuter soit avec des courants continus, soit avec des courants alternatifs simples ou polyphasés.

1° *Transport de force par courant continu.* — Pour utiliser le courant transporté, on se borne, dans ce cas, à abaisser sa tension.

Le transformateur se compose d'une dynamo réceptrice actionnant directement une dynamo génératrice produisant du courant continu à 500 volts.

On se trouve dans le cas d'une station centrale ordinaire, avec moteurs électriques, au lieu de moteurs à vapeur.

2° *Transport de force par courant alternatif.* — Le courant alternatif à haute tension passe d'abord dans des *transformateurs statiques* qui abaissent sa tension, puis dans des *convertisseurs,* appareils constitués par un moteur synchrone et une dynamo à courant continu réunis ordinairement sur le même arbre.

Ces convertisseurs produisent du courant continu à 500 volts (Rome).

3° *Transport de force par courants polyphasés.* — Les courants polyphasés se prêtent très bien soit à leur uti-

lisation directe, soit à leur transformation en courants continus.

Dans le premier cas on n'aura qu'à abaisser leur tension à l'aide de *transformateurs statiques*, de manière à ne distribuer dans le réseau que des courants à 300 ou 400 volts (Lugano).

Dans le second, on prendra comme intermédiaire des *transformateurs tournants* qui donneront du courant continu à 500 volts (Nashua).

Le choix à faire entre ces différents systèmes dépend des circonstances locales et des considérations suivantes :

1° Les courants alternatifs à haute tension se produisent plus simplement que les courants continus dont l'action sur les isolants peut être rapidement nuisible ;

2° On peut avec des courants alternatifs, simples ou polyphasés, limiter la tension dans l'usine productrice de courant à 200 ou 300 volts et faire passer le courant, avant de le lancer dans la ligne à haute tension, dans des transformateurs statiques, appareils inertes qui élèvent la tension, sans qu'il soit besoin d'exercer sur eux une surveillance continue (Lowell, Etats-Unis) ;

3° Si l'on a adopté une distribution par courants polyphasés, l'emploi d'un transport de force par courants polyphasés de même nature s'impose également, puisque de simples transformateurs statiques permettront de passer, du courant transporté par la ligne, au courant distribué dans le réseau.

Les transports de force sont de plus en plus employés pour

la traction des tramways. Ils donnent la possibilité d'utiliser, comme stations génératrices, des usines hydrauliques produisant l'énergie à très bas prix.

On peut aussi, de cette façon, alimenter avec une même usine plusieurs réseaux voisins, et bénéficier ainsi de l'économie que procure toujours la production en grand de l'énergie électrique.

CHAPITRE II

VOIE

Voie proprement dite. — Fondation et chaussée. — Éclissages électriques. — Rails soudés. — Fuites de courants par les rails; actions électrolytiques. — Rampes et courbes. — Effort de traction; puissance.

Voie proprement dite. — Les tramways électriques exigent (comme tous les tramways à traction mécanique) des voies robustes et solidement établies.

Aux États-Unis, on avait compté, au début, conserver, sans les renforcer, les anciennes voies exploitées avec des tramways à chevaux. Mais sous le passage de véhicules plus lourds (10 tonnes pour une voiture d'hiver à 2 moteurs) et sous l'action de vitesses dépassant parfois 30 km à l'heure, elles se sont disloquées très rapidement et l'on a dû les remplacer[1].

Il faut distinguer les voies établies sur accotement, le long des routes et celles qui, empruntant le sol des rues, ont leur rails noyés dans la chaussée.

Les premières doivent surtout être traitées comme une

[1] Ces voies anciennes n'avaient pas seulement l'inconvénient d'être très mauvaises pour le roulement, elles constituaient, malgré les éclissages électriques dont il sera parlé plus loin, un très mauvais conducteur pour le retour du courant et il se produisait des fuites d'électricité, se traduisant par l'attaque des conduites d'eau ou de gaz situées à proximité.

voie de chemin de fer d'intérêt local, c'est-à-dire qu'elles se composeront de *rails Vignole* ou de *rails à double champignon* posés sur traverses noyées dans du ballast.

Poids du mètre linéaire, 20 kg au minimum.

Espacement des traverses 0,8 m (0,6 m aux joints).

Les rails adoptés pour les voies établies sur les chaussées varient selon les pays. Les systèmes les plus employés sont les suivants :

1° *Rails à gorge*. — Dans ce type rentrent les rails Broca, Humbert, Phœnix, Gowans, Johnstones et Rankine, etc...

Fig. 10. — Rail Broca. Coupe transversale.

En France, nous employons surtout le rail Broca (fig. 10). Ce rail, qui a une hauteur de 170 mm, comporte :

Un patin de 102 mm de largeur.

Une âme de 11,5 mm d'épaisseur.

Un champignon de 92 mm formé par une table de roulement de 44 mm, une ornière de 28 mm./28 mm. et un contre-rail de 28 mm.

Poids du mètre linéaire, 44 kg.

On fait aussi, pour les voies à moyenne circulation, un rail du même type, ne pesant que 36 kg.

2° *Rails à gradin*. — Très employés aux Etats-Unis.

Un des meilleurs types est le suivant (fig. 11).

Hauteur 215 mm.

Largeur de la table de roulement 54 mm., de la surface de roulement 70 mm.

Patin de 120 à 140 mm. de largeur.

Poids du mètre linéaire, de 45 à 50 kg.

Ce rail convient bien pour les chaussées pavées, car, avec sa grande hauteur, les traverses qui le supportent peuvent être facilement placées sous les pavés.

Quand on se sert de rails moins élevés on rattrape la différence de hauteur par des longrines en bois ou en fer et par

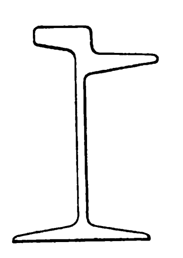


Fig. 11. — Rail à gradin, nouveau modèle. Coupe transversale.

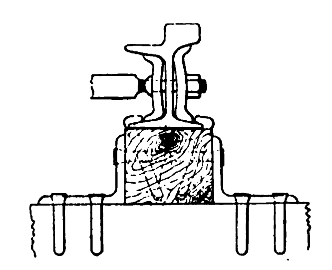


Fig. 12. — Rail à gradin, ancien type. Coupe transversale.

des coussinets (fig. 12) ; mais, dans les nouvelles voies, on préfère toujours et avec raison employer des rails du premier type.

Les rails à gradin ne sont guère acceptés en Europe, principalement à cause de la dénivellation qu'ils produisent dans le revêtement des chaussées. Aux Etats-Unis on n'y fait guère attention et la circulation ne paraît pas en souffrir.

3° *Rails Marsillon* (fig. 13). — Formé de deux rails identiques de 110 mm de hauteur et dont l'écartement est maintenu par des fourrures et par des coussinets boulonnés sur des traverses en bois.

Largeur du champignon 46 mm.

Epaisseur de l'âme 10 mm.

Poids du mètre linéaire 35 kg.

On emploie aussi un type dit *renforcé*, pesant 41 kg.

La voie Marsillon présente un coefficient de roulement moindre que les rails à gorge. Mais elle s'use plus vite sous

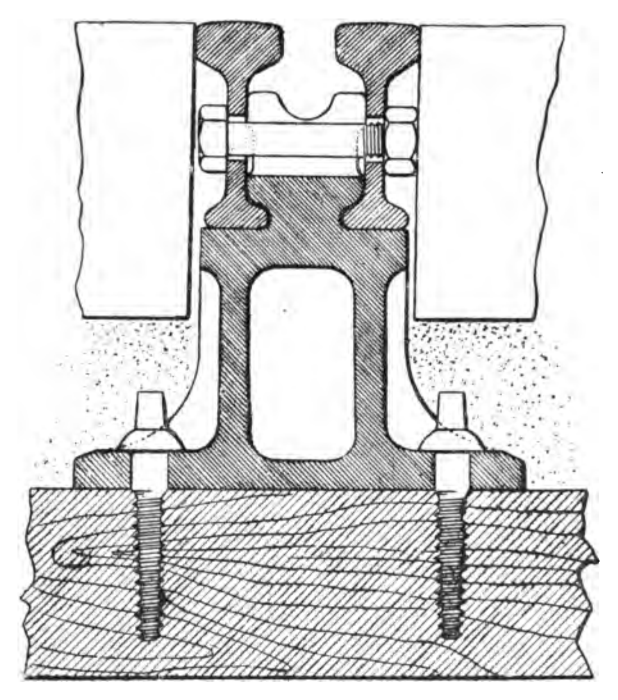


Fig. 13. — Voie Marsillon. Coupe transversale.

le passage des voitures et elle complique un peu l'exécution des éclissages électriques.

Fondation et chaussée. — Avec un bon sous-sol, les rails à large patin (comme les rails Broca) peuvent être posés direc-

tement sur une couche de sable, mais ils doivent être néanmoins solidement entretoisés dans le sens transversal.

Lorsque des tassements sont à craindre, on supporte les rails par des traverses en bois ou en métal. Aux Etats-Unis, où les rues ne sont pas établies avec autant de soin qu'en France, presque toutes les voies sont posées sur traverses en bois très rapprochées (0,56 m d'écartement au maximum).

Dans les rues à grande circulation, une fondation en béton de ciment est souvent indispensable. On lui donne de 15 à 20 cm d'épaisseur. Les traverses sont dans ce cas inutiles et les rails reposent directement sur le béton. Quand on veut établir la voie Marsillon sur fondation de béton, on supprime les coussinets et on les remplace par une selle de 2 cm d'épaisseur.

Une excellente chaussée pour un tramway électrique (surtout pour un tramway à retour du courant par les rails) serait constituée par une chaussée asphaltée avec fondation en béton.

Les chaussées pavées en bois donnent également de bons résultats. Mais il faut se méfier, dans ce cas, de la poussée des pavés qui tend à soulever les voies simplement posées sur la fondation[1].

Le plus souvent les chaussées sont pavées sur forme de sable.

A Paris on exige généralement, sur les lignes nouvelles à traction mécanique, un pavage en bois régnant entre les rails et sur 0,70 m à droite et à gauche.

[1] On évite cet inconvénient en cramponnant la voie, c'est-à-dire en fixant les rails par des crampons scellés dans le béton de fondation.

Eclissages électriques. — Quand le courant électrique fait retour à l'usine par les rails, les éclissages ordinaires ne suffisent pas pour assurer la continuité du circuit. Il peut arriver, en effet, que les boulons se desserrent ou que les contacts entre les éclisses et les rails deviennent imparfaits par suite de l'oxydation du métal.

Aussi est-il indispensable de relier les rails entre eux par des fils ou des rubans de cuivre d'une section suffisante pour que la perte de charge admise, du fait de la ligne, ne soit pas augmentée. A cet effet on tiendra compte que la résistance du cuivre est environ le huitième de celle de l'acier.

Les éclissages électriques ne sont efficaces qu'autant que les contacts sont bien assurés. Aussi convient-il que les surfaces de jonction de l'acier et du cuivre soient parfaitement propres et nettes.

Nous représentons, ci-après, quelques-uns des éclissages électriques les plus employés.

(*a*). Le joint est formé par un conducteur en cuivre serré

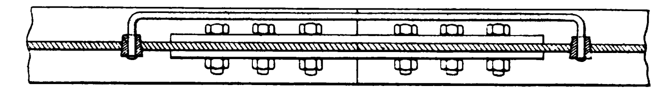


Fig. 14. — Eclissage électrique avec manchons en cuivre.

à ses deux extrémités dans des manchons coniques de même métal (fig. 14).

(*b*). Le conducteur passe dans des bouchons en acier étamé qui sont enfoncés à frottement dur dans les rails (système de la Société alsacienne) (fig. 15).

(*c*). *Rail Bond Chicago.* — Excellent joint employé aux Etats-Unis par la General Electric Company et en Europe par

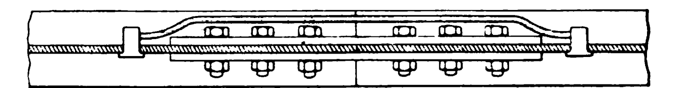


Fig. 15. — Eclissage électrique avec bouchons en cuivre.

la Société Thomson-Houston. Le conducteur se termine par une tête creuse dans laquelle on enfonce un rivet conique,

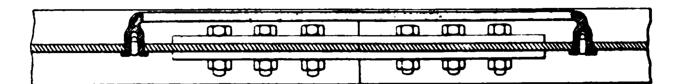


Fig. 16. — Rail Bond Chicago.

en acier (fig. 16). Le joint se double sur les lignes à grand trafic.

(*d*). Système à boucle formé par un fil de cuivre que l'on passe à travers les rails et dont on réunit les extrémités à

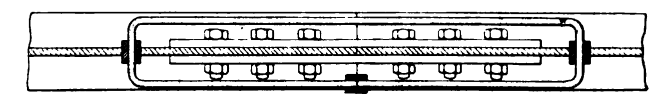


Fig. 17. — Eclissage à boucle.

l'aide d'un manchon en acier doux étamé. Le contact avec les rails est également assuré par des manchons en acier (Boston) (fig. 17).

Quand le courant à écouler est important, on complète souvent ces dispostions par un fil de cuivre continu placé entre les rails et auquel on relie les éclissages (fig. 18).

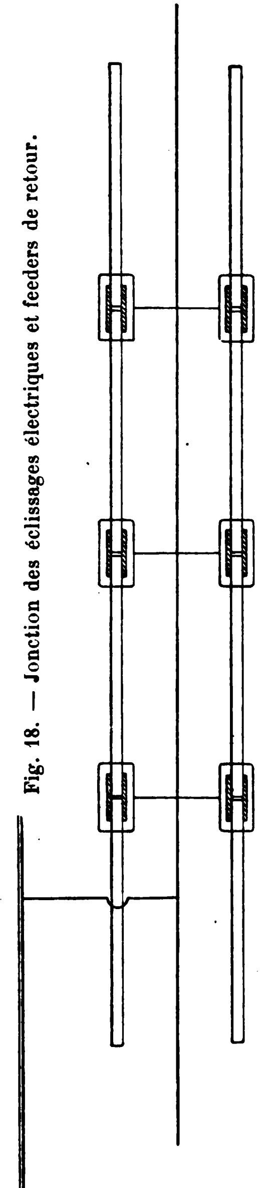


Fig. 18. — Jonction des éclissages électriques et feeders de retour.

Enfin, quand la densité du courant est trop forte, on déverse tout ou partie du courant à écouler par le fil et les rails dans des feeders de retour. Ces feeders interviennent, comme on le verra plus loin, à un autre point de vue. Ils doivent abaisser le potentiel des rails de telle façon qu'il ne puisse se produire d'actions électrolytiques. Il est nécessaire de les déterminer avec autant de soin que ceux qui servent à relier les conducteurs de distribution à l'usine [1].

On commence à employer, sur les lignes américaines, un joint électrique nouveau, constitué par les éclisses elles-mêmes dont on assure le contact avec les rails par un disque de métal plastique (Plastic Rail Bond). On a soin, au préalable, de décaper à vif les surfaces d'application. Lorsque les rails se dilatent ou se contractent, ils glissent sur le joint, mais sans perdre leur contact avec le métal plastique et par suite avec les éclisses.

[1] Voir l'*Éclairage électrique*, du 18 juillet 1896 (article de M. Blondel).

Rails soudés. — La continuité du circuit de retour peut également être obtenue, sans éclissages électriques, en soudant les rails bout à bout. Mais il est clair qu'une telle opération n'est praticable qu'autant que la voie peut résister sans se déformer, aux allongements et raccourcissements que produisent l'élévation ou l'abaissement de la température.

D'après M. Pellissier [1], avec des rails noyés dans les chaussées, la limite d'élasticité du métal ne serait pas atteinte, même pour des variations de 40 à 45°. D'autre part, les rails étant fortement maintenus par les traverses ou par le revêtement de la chaussée, les actions thermiques ne peuvent s'additionner sur toute la longueur de la voie.

C'est ce qui explique pourquoi le procédé a pu réussir dans certaines villes américaines (Saint-Louis, Portland).

Il est évidemment indiqué de souder, dans ce cas, les rails à l'aide de l'électricité, en se servant du courant même de la ligne. On doit toutefois lui faire subir une transformation afin d'augmenter la chaleur produite. Cette transformation consiste à abaisser sa tension, de manière à avoir, par exemple, au lieu d'un courant de 40 ampères à 500 volts, un courant de 5 000 ampères à 4 volts. La chaleur dégagée par l'appareil soudeur (laquelle croît comme le carré de l'intensité et ne dépend nullement de la tension) est alors beaucoup plus considérable.

La *Société Johnson*, qui s'est fait une spécialité de la

[1] Voir *la Nature*, du 8 février 1896.

soudure des rails par l'électricité, emploie justement une tension finale de 4 volts[1]. L'opération se fait de la façon suivante : on rapproche les rails bout à bout et on place de part et d'autre du joint, des cales de même métal que les rails. On prend le tout dans une mâchoire portée sur la machine à souder et, après avoir serré énergiquement, on fait passer le courant. L'acier fond très rapidement et remplit les joints. Les cales restent et maintiennent le joint transversalement. On exécute ainsi facilement 50 joints par journée de dix heures. L'appareil soudeur, le transformateur et le reste du matériel sont transportés par un wagon muni de moteurs électriques et prenant son courant sur la ligne aérienne par un trolley.

La *Falk Manufacturing Company* emploie un autre procédé[2]. Elle entoure les extrémités à souder d'un manchon en fonte et verse dans ce moule du fer fondu. Pour obtenir ce fer fondu, elle amène à pied d'œuvre un four roulant, avec insufflateur d'air actionné par une petite machine à vapeur. Chaque joint consomme 55 kg de métal.

Fuites de courant par les rails ; actions électrolytiques. — Lorsque, par suite d'une mauvaise conductibilité de la voie, le courant fuit par les rails, il a tendance, pour revenir à l'usine, à suivre les conduites d'eau et de gaz qui, en raison de leur continuité et de leur nature, constituent des conducteurs très peu résistants.

[1] Les chemins de fer à l'exposition de Chicago, par MM. Grille et Falconnet.
[2] *La Nature* du 16 mars 1895.

L'électricité, en passant des rails aux conduites et des conduites à l'usine ou aux rails situés dans le voisinage de l'usine, décompose les sels contenus dans le sol. Une oxydation plus ou moins énergique se produit aux *anodes* (points de sortie du courant). Par conséquent les conduites courent le risque d'être détériorées surtout dans le voisinage de l'usine, puisque c'est là où le courant les abandonne.

Pour que ces actions électrolytiques se produisent, il n'est pas indispensable que la conductibilité de la voie soit défectueuse. Il suffit, comme l'a démontré M. Potier [1], qu'entre les extrémités des rails il existe une différence de potentiel dépassant 5 volts [2]. Dans ce cas, un *courant dérivé* prend naissance et se porte naturellement sur les conduites voisines.

Pour éviter ou atténuer ces actions électrolytiques on peut : 1° relier le pôle négatif des dynamos aux conduites situées près de l'usine ou aux conduites plus éloignées que, par suite d'interruptions, le courant doit abandonner;

2° Réduire à 5 volts, au plus, la différence de potentiel existant entre les extrémités des rails, par la pose de feeders de retour convenablement distribués [3]. En général, ces

[1] Société Internationale des Électriciens. Mai 1896.

[2] Ce chiffre se justifie par ce fait que, pour sortir des rails, traverser le sol, suivre les conduites et regagner les rails, le courant a à vaincre : 1° deux fois la force contre-électromotrice de polarisation du sol, soit 2 × 2 volts = 4 volts : 2° la résistance du sol (en supposant celle des conduites négligeable) qui peut être inférieure à 1 volt.

[3] Voir l'*Éclairage Électrique*, n^os des 9 mai 1896 (article de M. Lauriol) et 18 juillet 1896 (article de M. Blondel).

Dans certains pays on accepte entre les extrémités des rails des différences de potentiel un peu plus fortes (en Angleterre, 7 volts).

feeders ne seront indispensables que lorsque la longueur de la ligne ne dépassera pas 5 km. Ils devront être calculés, comme on l'a dit précédemment, avec autant de soin que les feeders d'aller ; mais ils pourront être moins bien isolés en raison de la faible tension du courant à écouler;

3° Au lieu de poser des feeders de retour, on pourra diviser la ligne en sections d'environ 5 km, et pour l'alimenter avec une même usine à 500 volts, on fera usage de survolteurs[1] ;

4° Employer le système à 3 fils (voir ch. 1er, p. 11); système qui permettra en outre d'alimenter une longueur de voie supérieure à 5 km, car on distribuera en réalité à 1 000 volts;

5° Enfin, en adoptant des courants polyphasés ou en posant une ligne spéciale pour le retour du courant. Dans l'un et l'autre cas deux trolleys ou deux frotteurs seront nécessaires.

On voit, somme toute, que l'on peut assez facilement se mettre, dans tous les cas, à l'abri des décompositions électrolytiques. Celles-ci se sont surtout produites au début de l'industrie, alors que l'on n'apportait pas un soin suffisant à l'établissement des éclissages électriques. Mais, en fait, dans les installations nouvelles, elles sont beaucoup moins nombreuses qu'on ne le croit généralement. Il résulte, d'ailleurs, de la communication de M. Potier, qu'elles

[1] S'il s'agissait d'un réseau très chargé, on serait probablement amené à réduire un peu cette longueur de 5 kilomètres. Il est facile de la déterminer exactement, quand on connait l'espacement des voitures.

sont en réalité peu à craindre sur des réseaux de faible étendue.

Rampes et courbes. — Un moteur électrique peut, comme nous le verrons plus loin, développer passagèrement une puissance bien supérieure à sa puissance normale de route. Cette élasticité permet aux tramways électriques d'aborder des rampes atteignant jusqu'à 10 et 11 cm par mètre [1].

Au delà, l'adhérence serait insuffisante et il faudrait engrener les moteurs non avec les essieux, mais avec une crémaillère, comme au Mont-Salève.

On pourrait aussi appliquer les procédés d'adhérence magnétique préconisés par M. de Bovet.

Lorsqu'un tramway descend une pente accentuée on peut non seulement arrêter le courant, mais encore profiter du mouvement de rotation des moteurs pour produire de l'électricité. Les moteurs travaillent alors comme des dynamos génératrices et l'on récupère ainsi, aux descentes, une partie de l'énergie consommée aux montées.

On a pu, en procédant de la sorte, réaliser sur certaines lignes, principalement sur des lignes à accumulateurs, des économies de traction assez marquées.

Les courbes limites à adopter dépendent surtout du maté-

[1] On peut citer, comme rampes très élevées gravies par des tramways électriques les suivantes :

Amsterdam(États-Unis).	13,5	cm par mètre.
Glens Falls......	12,5	—
Nashville.......	11,0	—
Remscheid......	10,6	—
Kiew.........	10,5	—
Belgrade.......	10,0	—

riel roulant. On n'emploie que très rarement des rayons inférieurs à 15 m.

Effort de traction; puissance. — La résistance à la traction varie avec l'état de propreté de la voie et la forme des rails. A ce dernier point de vue les rails à gorge et à gradin sont un peu moins avantageux que les rails Marsillon.

On doit aussi, quand les voitures sont susceptibles d'atteindre une grande vitesse, tenir compte de la résistance de l'air. Mais, avec les vitesses généralement observées en Europe, on peut se contenter de coefficients moyens.

Nous engloberons dans ces coefficients moyens la résistance spéciale provenant des courbes. Leur influence sur l'ensemble de l'exploitation, sauf exceptions, n'est pas en effet très sensible, d'autant plus que, dans la plupart des cas, on ne les aborde qu'après avoir réduit notablement la vitesse.

En palier, la résistance moyenne à la traction est de 10 kg par tonne, pour une voie sur accotement, et de 13 kg par tonne, pour une voie avec rails noyés dans les chaussées.

Dans les *rampes*, on doit ajouter 10 kg par tonne et par chaque centimètre pour mètre de rampe.

Un tramway doit pouvoir démarrer très rapidement. Les tramways électriques, dont les moteurs jouissent de la remarquable propriété de développer justement au démarrage un effort maximum, offrent à ce point de vue des avantages tout à fait précieux (voir ch. VIII.)

L'effort supplémentaire à réaliser par tonne remorquée,

pour le *démarrage* peut se calculer rapidement, en kg, par la formule $102 \frac{V}{t}$, t étant la durée du démarrage en secondes et V la vitesse normale de route en mètres par seconde[1].

Avec les moteurs ordinairement employés un tramway électrique démarre facilement en quelques secondes, même sur une rampe prononcée.

Lorsque l'on forme des trains composés d'une voiture automobile et d'une ou plusieurs voitures remorquées, il faut que l'effort de traction soit inférieur à l'adhérence. Celle-ci varie beaucoup avec l'état de la voie (sec, boueux, humide, etc.). Elle est en moyenne de 1/7 du poids adhérent (150 kg par tonne de poids adhérent, en chiffre rond).

La *puissance* de traction s'obtient en chevaux, en multipliant l'effort de traction (en kg) par la vitesse (en mètres par seconde) et en divisant par 75.

Une voiture de 50 places, pesant en charge 10 tonnes, absorbe en palier (résistance de l'organisme comprise) et avec une vitesse de 10 à 12 km à l'heure de 6 000 à 7 000 watts c'est-à-dire de 8 à 10 chevaux[2]. Mais, au démarrage et sur les rampes, la puissance absorbée est beaucoup plus considérable (souvent 6 à 7 fois plus). Aussi adopte-t-on, comme nous l'avons déjà dit, 2 moteurs de 25 chevaux pour les grandes voitures de 50 places et 1 moteur de 20 à 25 chevaux pour les voitures de petit modèle.

[1] Ces vitesses sont 2,22—2,50—4,17—5,55—6,95—8,33, pour des vitesses, en kilomètres à l'heure, de 8, 10, 15, 20, 25 et 30.

[2] De Marchena. *La traction mécanique des tramways.*

CHAPITRE III

DISTRIBUTION DU COURANT PAR CONDUCTEURS AÉRIENS

Conducteurs aériens. — Suspension des fils conducteurs : (*a*) Suspension par haubans et poteaux; (*b*) Suspension par haubans et agrafes; (*c*) Suspension par poteaux-consoles. — Prise de courant : (*a*) Navette; (*b*) Trolley; (*c*) Trolley à frotteur ; (*d*) Archet. — Aiguillages et croisements. — Distribution à trois fils). — Distribution par courants polyphasés. — Protection des lignes.

Conducteurs aériens. — Au début les conducteurs aériens étaient formés par des tubes de cuivre fendus suivant une génératrice et dans lesquels circulait une navette reliée à la voiture d'abord par une corde, qui la tirait en même temps que le tramway se déplaçait, puis en outre par un fil de cuivre qui amenait le courant aux moteurs.

C'est ainsi qu'a fonctionné le petit tramway installé en 1881, à Paris, à l'occasion de l'exposition d'électricité, entre la place de la Concorde et le palais de l'Industrie. C'est d'ailleurs encore par ce système que se fait la distribution du courant sur le tramway de Clermont-Ferrand à Royat et sur celui de Vevey à Chillon (Suisse).

Mais ces conducteurs tubulaires, d'aspect disgracieux, ont été rapidement abandonnés et l'on s'est attaché au contraire

à n'employer que des fils pleins, de section aussi réduite que possible[1].

Les conducteurs aériens actuellement en usage sont en cuivre étiré, ou en bronze siliceux, ou plus rarement en acier. Leur diamètre ne dépasse pas ordinairement 8 à 9 mm. On les tend soit au-dessus, soit sur le côté des voies. Pour diminuer leur flèche (0,40 m au plus), tout en ne les soumettant pas à un effort de tension exagéré, on les soutient en alignement droit tous les 35 à 40 m. Leur hauteur au-dessus du sol est d'environ 7 m. Les fils sont généralement amenés à pied d'œuvre par longueurs de 700 à 800 m. Pour les réunir bout à bout on emploie des manchons dans lesquels on engage les extrémités des deux fils à jonctionner et que l'on remplit de soudure. On peut aussi adopter des manchons tendeurs qui servent également pour racheter les inégalités de longueur qui se produisent dans les conducteurs, sous l'influence des variations de la température. Enfin certains constructeurs préfèrent perdre une certaine longueur de fil et se servir des pièces de support elles-mêmes pour établir les joints.

Suivant l'importance du trafic, les conducteurs sont ou directement alimentés par l'usine génératrice ou divisés en sections reliées à cette usine par des *feeders*[2]. Ces feeders sont presque toujours souterrains.

[1] Exceptionnellement on s'est servi de conducteurs pleins en forme de huit (Nantasket-Beach).

[2] Ces sections n'ont pas besoin d'être isolées les unes des autres. Il est au contraire préférable de les jonctionner entre elles, de telle façon qu'elles puissent, au besoin, se secourir mutuellement. C'est ainsi que l'on procède sur les réseaux d'éclairage.

La perte de charge consentie en ligne ne dépasse pas ordinairement 10 p. 100.

Suspension des fils conducteurs. — (a). *Suspension par haubans et poteaux.* — Ce système est généralement employé dans les rues de largeur moyenne, munies de trottoir (fig. 19).

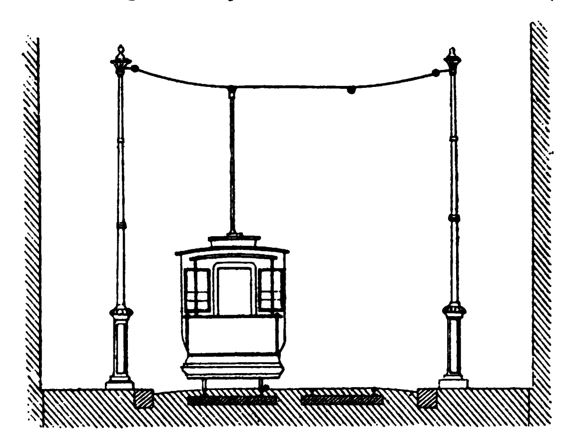


Fig. 19. — Suspension par haubans et poteaux.

Les poteaux se font soit en bois (surtout aux Etats-Unis), soit en fer ou en acier. Comme poteaux métalliques on emploie principalement en Europe des poteaux tubulaires plus ou moins ornementés ayant une hauteur au-dessus du sol de 7 m à 7,5 m et un socle de 1,5 m à 1,8 m que l'on encastre dans les trottoirs. Les poteaux en treillis coûtent moins cher, mais sont moins décoratifs.

Les haubans sont en fil d'acier galvanisé et ont de 5 à 6 mm de diamètre. D'une part ils sont accrochés aux poteaux par des colliers munis de tendeurs et d'autre part ils soutiennent

les conducteurs par des isolateurs de forme diverse (fig. 20).

Souvent on exige un double isolement pour le cas où un

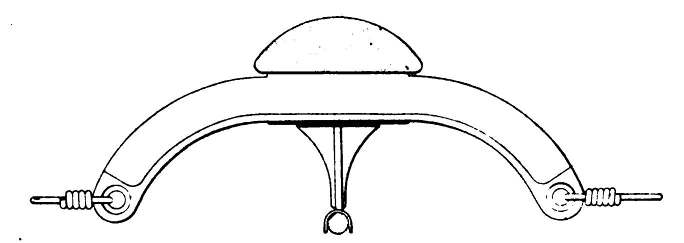


Fig. 20. — Isolateur pour la suspension du conducteur aérien.

fil métallique (par exemple un fil de téléphone) viendrait à tomber sur la ligne et mettre en contact les conducteurs aériens et les haubans tendeurs ou encore pour le cas où un isolateur de suspension viendrait à se casser ou à brûler. Les isolateurs supplémentaires se placent alors au départ des haubans, près des tendeurs.

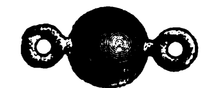


Fig. 21. — Isolateur pour hauban tendeur.

Ils sont en forme de boules (fig. 21), de cylindres, etc... On peut ainsi combiner des isolateurs-tendeurs (fig. 22).

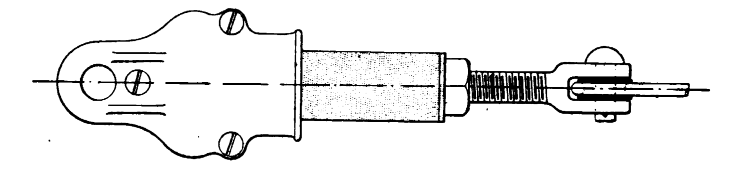


Fig. 22. — Isolateur tendeur.

En alignement droit les poteaux sont placés tous les 35 à 40 m.

Dans les courbes ils doivent être beaucoup plus rapprochés. Mais rien n'empêche de se servir d'un même poteau C

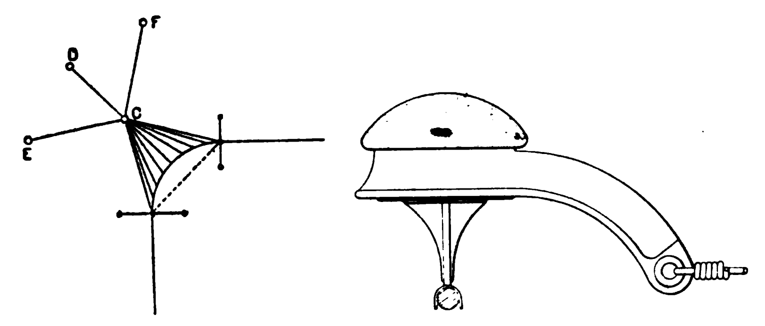


Fig. 23. — Suspension en courbe. Fig. 24. — Isolateur en courbe.

pour tendre plusieurs haubans (fig. 23). Dans ce cas, les iso-

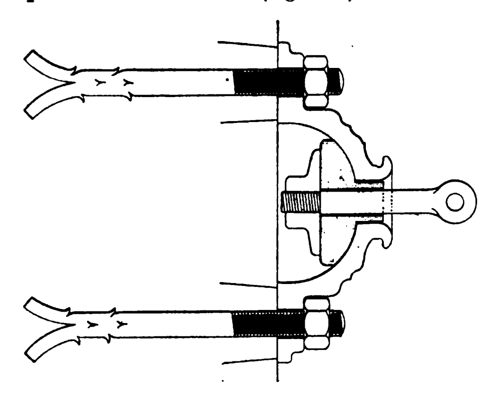


Fig. 25. — Agrafe pour hauban tendeur.

lateurs de ligne, qui ne sont tirés que d'un seul côté, ont la forme représentée par la figure 24.

Lorsque la disposition des lieux ne se prête pas à l'établissement du poteau de courbe C, on le remplace par une

couronne que l'on tend à l'aide de poteaux E, D, F convenablement placés.

(b) *Suspension par haubans et agrafes.* — Quand les trottoirs sont trop étroits pour que l'on puisse y placer les poteaux, on scelle dans les façades des maisons des agrafes analogues à celle que représente la figure 25[1]. Mais il faut se préoccuper, dans ce cas, d'amortir les vibrations que produit le trolley et qui pourraient gêner les habitants. On place alors dans l'intérieur de l'agrafe un tampon en caoutchouc, qui agit en même temps comme isolateur.

Pour monter la ligne on établit deux agrafes en face l'une

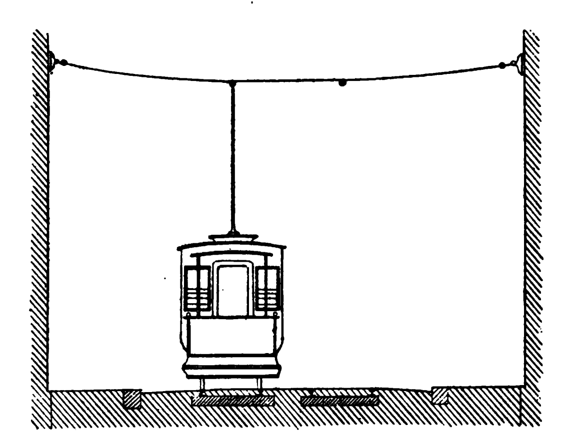


Fig. 26. — Suspension par haubans et agrafes.

de l'autre (fig. 26) et l'on emploie des haubans analogues à ceux qui servent pour les poteaux.

[1] Il faut naturellement l'assentiment des propriétaires.

(c) *Suspension par poteaux-consoles.* — Dans ce cas il n'y a plus besoin de haubans tendeurs. Si la voie est large, les poteaux se placeront sur refuge (fig. 27) et on pourra les utiliser pour l'éclairage en installant une lampe à arc au sommet.

Si les voies sont sur accotement ou longent un trottoir,

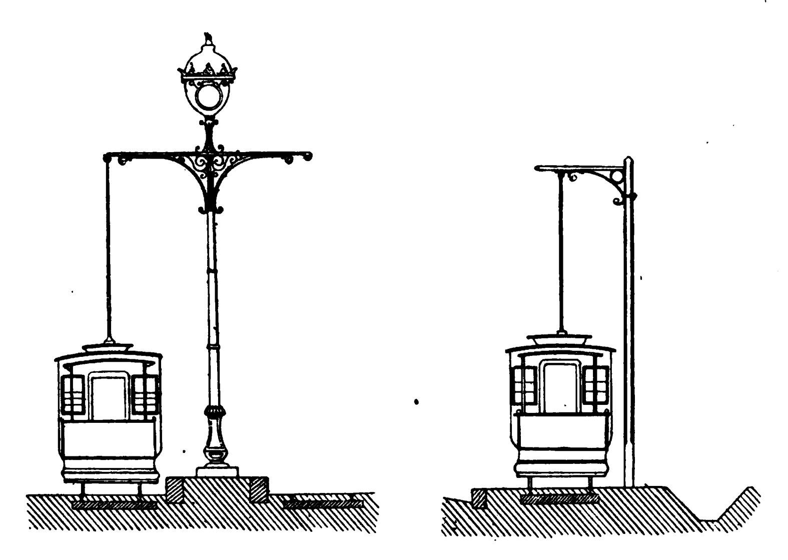


Fig. 27. — Suspension par poteau, avec double console.

Fig. 28. — Suspension par poteau, avec simple console.

on adoptera une console à un seul bras, plus ou moins longue (fig. 28) suivant que la ligne sera à simple ou double voie.

Il faut, pour supporter les conducteurs aériens, des isolateurs spéciaux. Les figures 29 et 30 montrent un isolateur qui se fixe par deux colliers de serrage sur le bras de la console.

La *Société Alsacienne* évite cette sujétion, en employant

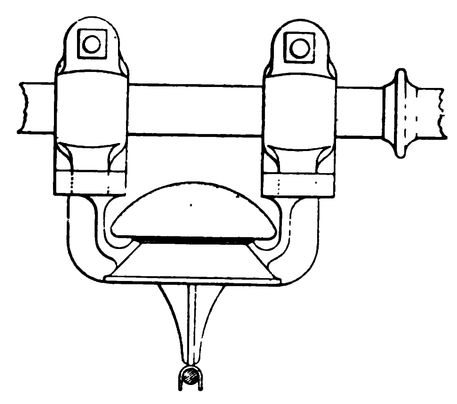


Fig. 29. — Isolateur pour console, vu de face.

des consoles analogues à celle que représente la figure 31.

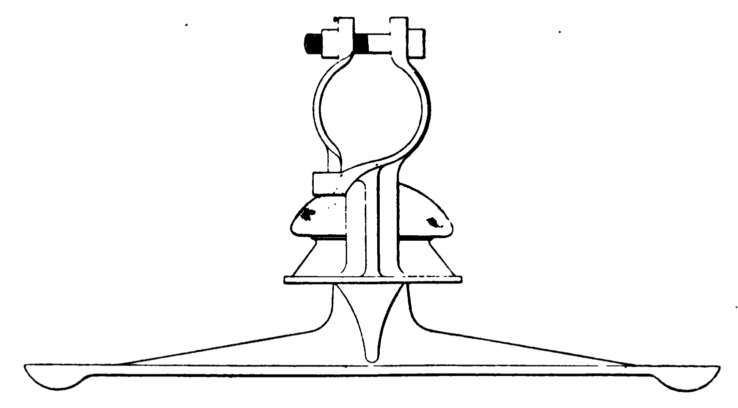


Fig. 30. — Isolateur pour console, vu parallèlement au conducteur.

On voit qu'avec ces dispositions le fil du conducteur est soutenu comme dans le cas d'une suspension par poteaux

ou par agrafe. En outre la prise du courant se fait au passage des consoles, par des mouvements plus doux.

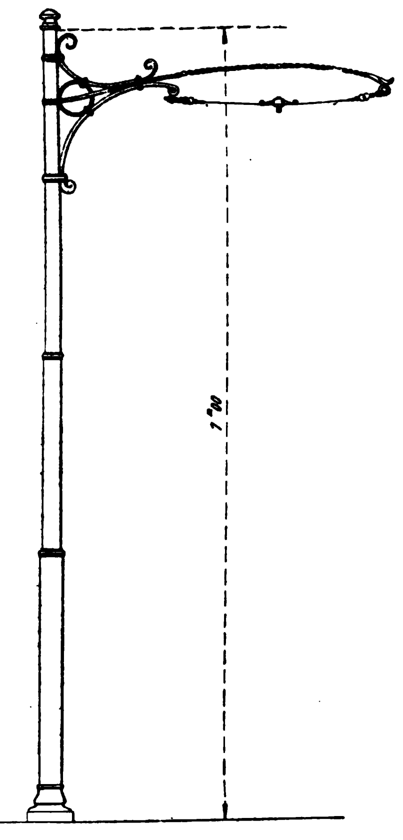


Fig. 31. — Suspension par console avec isolateur ordinaire.

Prise de courant. — (a). *Navette.* — Ce système s'emploie avec des conducteurs tubulaires. (Ligne de Clermont-Ferrand à Royat. Ligne de Vevey à Chillon, etc.)

(b). *Trolley.* — Le trolley est, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, une roulette en bronze fixée à l'extrémité d'une perche métallique montée sur le toit de la voiture[1]. De puissants ressorts tendent à ramener la perche verticalement. Celle-ci en est empêchée par le fil aérien contre lequel elle presse énergiquement.

La figure 32 montre le système employé par la Société

[1] Dans la pratique on confond sous le nom de *trolley* non seulement la roulette de contact, mais aussi bien la perche et le support à ressorts.

Thomson-Houston. L'appareil est mobile autour d'un axe vertical, ce qui permet son retournement lorsque le tramway est arrivé à l'extrémité de la ligne. Le trolley peut aussi se déplacer latéralement, mais il ne peut le faire que dans un angle assez faible, sous peine d'abandonner les conducteurs.

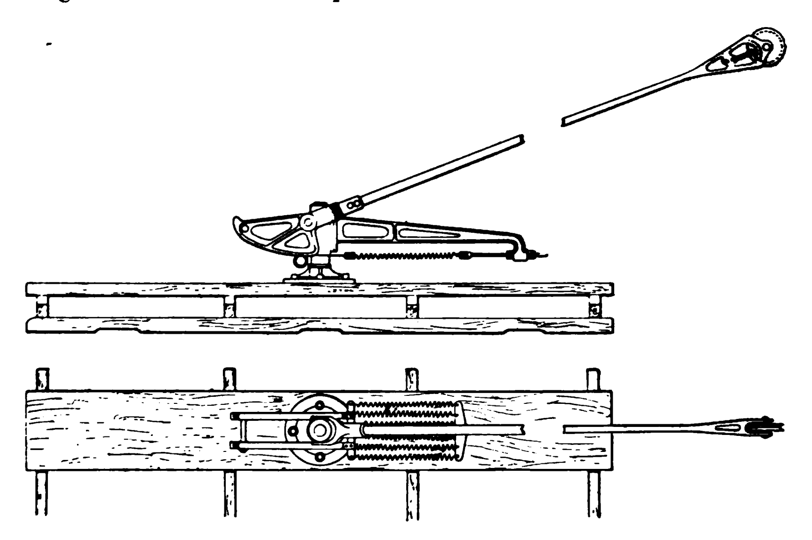


Fig. 32. — Trolley. Élévation et plan.

L'ensemble de l'appareil est monté sur un plateau en bois. Le courant passe de la roulette dans la perche par l'axe de rotation du trolley.

La Société Fives-Lille préfère recueillir le courant qui s'échappe de la roulette par un contact spécial (fig 33). Ce contact est en charbon et est pressé par un ressort contre le trolley.

Avec le mode de montage précédemment indiqué, les

conducteurs aériens doivent être sensiblement placés dans l'axe même des voies. Si l'on veut que ceux-ci n'empiètent pas sur la chaussée, il faut employer le *trolley Dickinson* (Bristol, Montpellier, etc.) qui permet de placer les conducteurs à quelques mètres en dehors des voies [1]. Ce système est surtout avantageux dans les rues plantées d'arbres, car les conducteurs peuvent alors être tendus à peu près dans la ligne des plantations, et, dans cette situation, ils sont à peine visibles.

Le trolley Dickinson se compose d'une roulette qui peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son axe de rotation. Le bras qui la supporte (fig. 34) et qui tend à se soulever verticalement est susceptible, comme un bras de trolley ordinaire de se déplacer dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Tous

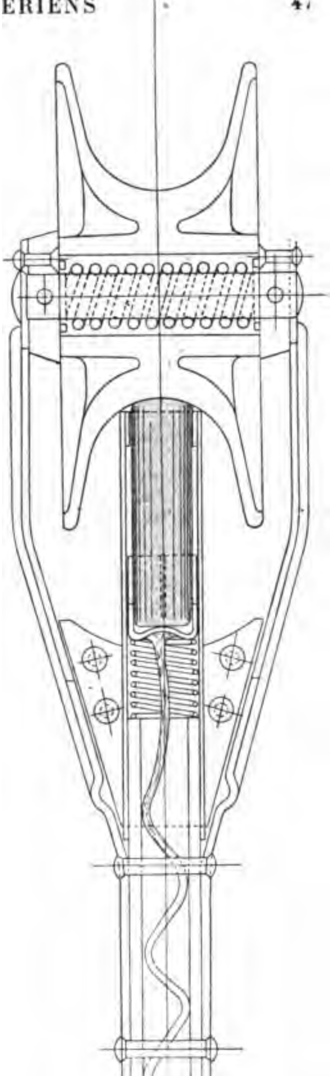


Fig. 33. — Trolley avec contact en charbon.

[1] Voir l'*Energie électrique*, du 16 avril 1896.

ces mouvements permettent à la roulette de maintenir son contact avec les conducteurs, non seulement quand ils sont

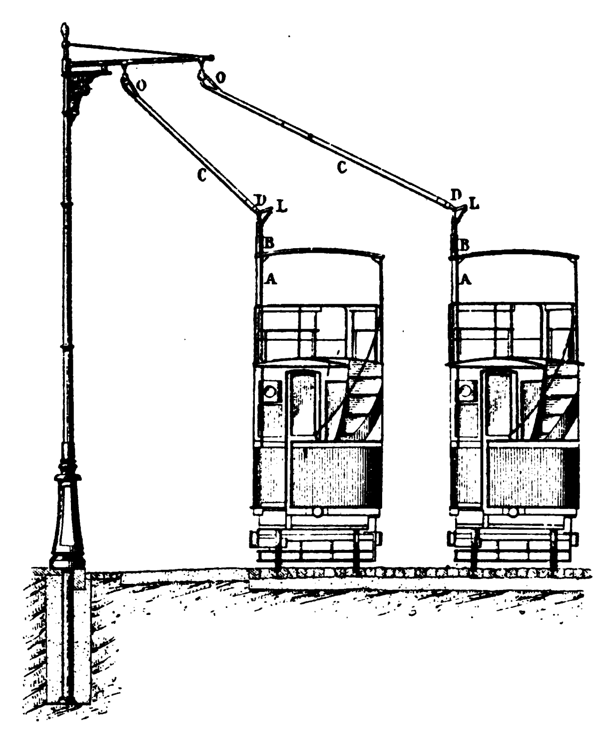


Fig. 34. — Trolley Dickinson.

extérieurs à la voie, mais encore quand ils s'élèvent ou s'abaissent, ou encore quand leur distance à l'axe de la voie varie. Aussi peut-on substituer aux courbes un polygone inscrit, à côtés très allongés, ce qui constitue un grand avantage, attendu que les conducteurs aériens, généralement très admissibles dans les alignements droits,

sont au contraire d'un aspect assez choquant dans les courbes.

L'axe vertical autour duquel tourne le bras du trolley est ici très élevé. C'est qu'il a été surtout combiné pour des

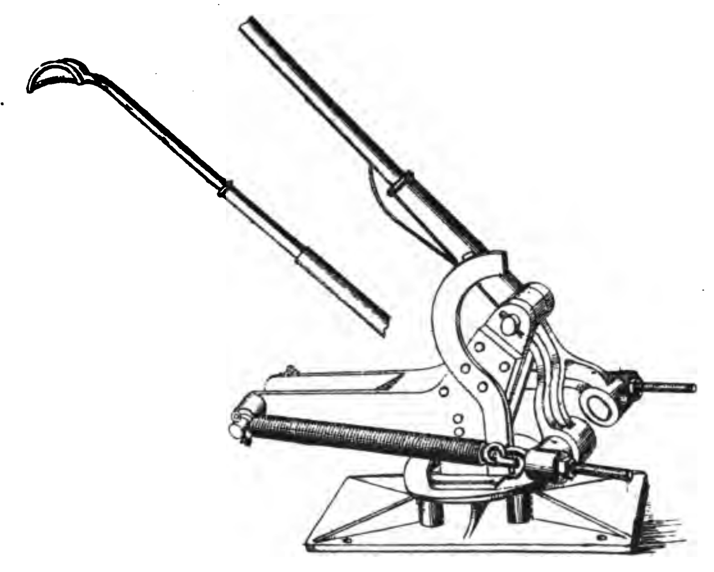


Fig. 35. — Trolley à frotteur.

voitures à impériale. Pour des voitures ordinaires il est beaucoup moins haut.

(c). *Trolley à frotteur.* — Nous ne citons ce système que pour mémoire. Il a été appliqué à Richemond (États-Unis) par M. Short. C'est un trolley ordinaire dont la roulette a été remplacée par une sorte de spatule garnie de graphite (fig. 35).

Sur la petite ligne de Stansstad à Stans, la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève a également installé des trolleys à frotteurs. La prise de courant se fait par une semelle garnie de métal antifriction.

(d). *Archet.* — L'archet est surtout préconisé par la maison Siemens qui en a fait des applications à Bâle, Dresde, Gênes,

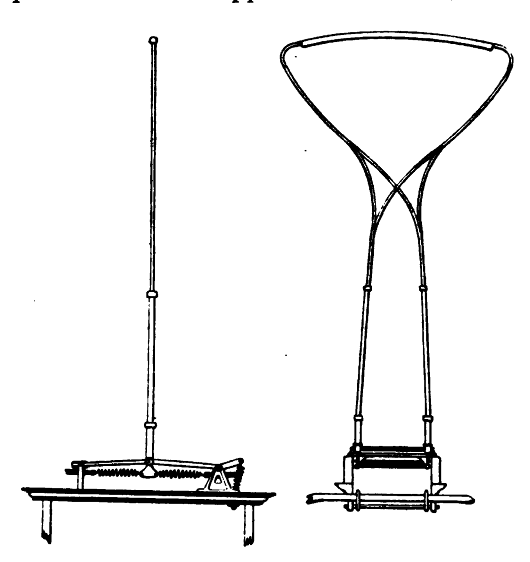


Fig. 36. — Archet, vu de côté et de face.

Mulhouse, etc. Il est en usage en France sur un certain nombre de lignes et, en particulier, sur les tramways de Fontainebleau.

La partie la plus intéressante de l'archet est le montant supérieur qui frotte sur les conducteurs aériens.

S'il est fait en métal trop dur, il risque d'user rapidement

les conducteurs. D'autre part, s'il frotte toujours à la même place, il peut se scier transversalement.

On évite ces deux inconvénients en adoptant un montant en métal moins dur que le cuivre et en tendant les fils en zigzags allongés au-dessus des voies.

Le montant se fait surtout en aluminium ; il a la forme d'une petite gouttière que l'on remplit de graisse (fig. 37). Quelquefois on emploie un fil de cuivre entouré d'une gaine en métal mou.

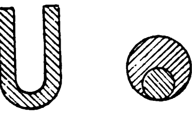


Fig. 37.
Coupe de l'archet.

La largeur du montant étant de 1,50 m, on voit que les déplacements latéraux des conducteurs aériens peuvent atteindre 0,75 m soit à droite, soit à gauche de l'axe. Il en résulte la possibilité d'allonger beaucoup, dans les courbes, les côtés des polygones que forme forcément le conducteur. Cet avantage se traduit par une diminution dans le nombre des poteaux et des haubans tendeurs. La construction des aiguillages et des croisements se trouve également facilitée.

L'archet peut, comme le trolley, tourner dans le plan longitudinal ; un jeu de ressorts le presse constamment contre les conducteurs.

Il n'a pas besoin d'être muni d'un axe de rotation vertical : d'abord, parce que la largeur du montant rend inutiles les petits mouvements latéraux de la perche de support, ensuite parce que, grâce à l'élasticité du montant et des fils, il se place toujours de lui-même dans une position inclinée par rapport au sens de la marche.

Ainsi, il n'est pas nécessaire, quand on est arrivé au terminus, de faire subir à l'appareil une rotation de 180°. Dès les premiers tours de roue l'archet bute contre les conducteurs, se relève verticalement puis se rabat en sens inverse.

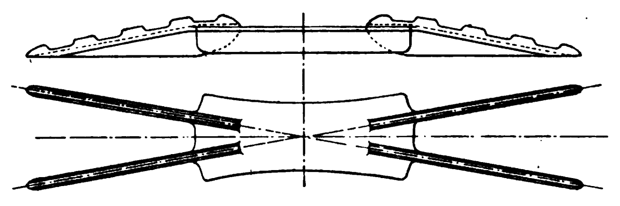


Fig. 38. — Aiguillage.

Pendant cette manœuvre la voiture reste en contact avec les conducteurs. L'éclairage n'est donc pas supprimé, alors

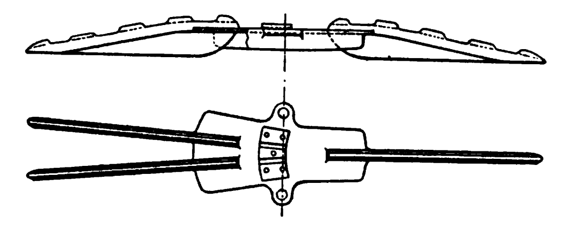


Fig. 39. — Croisement.

qu'avec le trolley les lampes s'éteignent forcément, quand on tire sur la perche pour la ramener en arrière.

On fait valoir également que l'on supprime tous les déraillements qui se produisent parfois avec le trolley et que l'on diminue un peu les mouvements vibratoires des conducteurs ainsi que leur action inductive sur les téléphones.

Aiguillages et croisements. — Les aiguillages et les croi-

sements se font à l'aide de pièces pleines en bronze, auxquelles on fixe les conducteurs et qui portent des saillies pour diriger la marche du trolley (fig. 38 et 39). Dans le tracé de ces pièces il faut surtout avoir pour but d'éviter les soubresauts du trolley et de rendre tout déraillement impossible par un bon guidage.

Dans les aiguillages, on recommande de placer l'aiguille aérienne un peu en arrière de l'aiguillage des rails, de manière que le mouvement du trolley soit facilité par celui de la voiture.

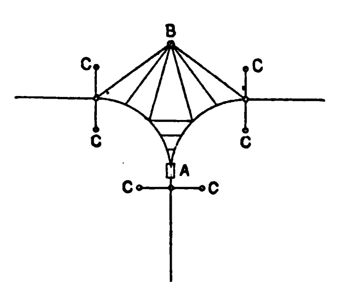


Fig. 40. — Suspension du conducteur dans les aiguillages.

Les aiguillages sont toujours plus compliqués que les croisements, attendu qu'ils servent de point de départ à une courbe. De nombreux fils tendeurs sont donc nécessaires. La figure 40 montre comment on peut soutenir les conducteurs dans le cas d'un aiguillage avec courbes, à angle droit[1].

Avec l'archet il n'y a pas besoin de pièces spéciales pour les croisements et les aiguilles. Il suffit qu'il n'y ait pas de solution de continuité ou de saillies brusques dans les conducteurs aériens.

[1] Les lignes à voie unique avec garages à double voie nécessitent des aiguillages fréquents. On peut avoir intérêt, dans ce cas, à supprimer les aiguillages électriques et à adopter deux conducteurs, même en simple voie. Ces conducteurs sont placés à quelques centimètres l'un de l'autre et servent : l'un pour les voitures montantes, l'autre pour les voitures descendantes.

Distribution à trois fils. — Si la voie est divisée en sections alternativement à + 500 volts et — 500 volts. On se trouve, sur chaque section, dans le cas d'une ligne avec conducteurs au même potentiel.

Si, au contraire, il s'agit d'une ligne à double voie, avec conducteurs à des potentiels différents, on devra employer aux points où le conducteur à + 500 volts rencontrera le conducteur à — 500 volts des croisements isolés.

C'est là une petite complication; mais rien n'empêcherait de diviser une ligne à double voie en sections alternativement positives et négatives, comme dans le cas de la simple voie.

Distribution par courants polyphasés. — Nous prendrons comme type la distribution par courants triphasés de Lugano, dont il a été parlé au chapitre premier.

Pour distribuer un courant triphasé il faut trois conducteurs. On peut prendre les rails pour former l'un de ces conducteurs; dans ce cas il reste à poser deux conducteurs par voie et les voitures doivent être munies de deux trolleys (fig. 41).

Les deux conducteurs aériens de Lugano sont constitués par des fils de cuivre de 6 mm de diamètre placés au-dessus et au milieu de la voie et à 25 cm l'un de l'autre. La différence de potentiel efficace entre ces deux conducteurs et entre chacun d'eux et la terre (rails) est de 400 volts.

Les fils sont suspendus soit à des consoles, soit à des haubans par la méthode ordinaire.

Mais, pour les aiguillages et les croisements, il faut adopter des dispositions spéciales, puisque les courants qui suivent les conducteurs aériens ne sont jamais en concordance de phase.

Les aiguillages se font comme l'indique la figure 42, qui

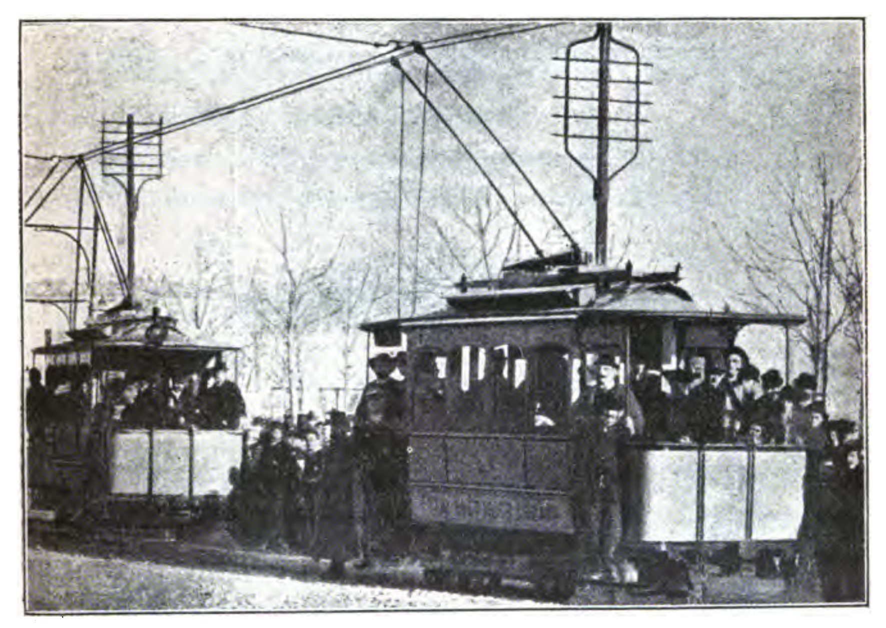


Fig. 41. — Tramway avec courants triphasés.

donne, en plan, le tracé des conducteurs. P est un poteau soutenant par la console PC et les isolateurs i les deux conducteurs aériens de la ligne principale ; a' et b' sont les deux conducteurs de l'embranchement. Ces deux conducteurs sont fixés à la console PC par l'intermédiaire d'isolateurs i' et de fils tendeurs.

D'autre part, *a* et *a'* ainsi que *b* et *b'* communiquent électriquement. Dans ces conditions, pour aiguiller le tramway, il suffit de l'amener en T, et de tirer sur les trolleys pour les faire passer successivement de *a* sur *a'* et de *b* sur *b'*.

On aiguille sur *a b* par une manœuvre inverse.

Il n'existe pas de croisements. S'il y en avait, on adopterait une disposition analogue à la suivante (fig. 43). Les

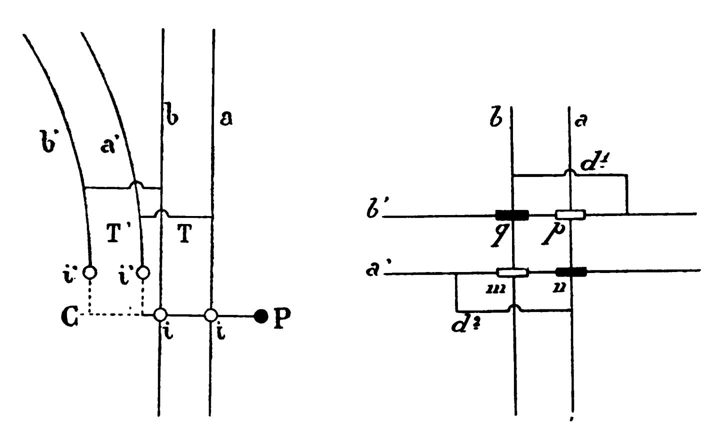


Fig. 42. — Aiguillage avec des courants triphasés.

Fig. 43. — Croisement avec des courants triphasés.

croisements *m* et *p* seraient isolés ; *q* et *n* réuniraient, à la façon ordinaire, les conducteurs *a*, *a'* et *b'*, *b'*. Deux dérivations d_1, d_2 compléteraient l'alimentation de la ligne *a' b'*. On n'aurait pas besoin alors de toucher aux trolleys, car, aux passages *m* et *p*, les moteurs continueraient à marcher, en fonctionnant comme des moteurs à courant alternatif simple.

On pourrait combiner des aiguillages d'après le même

principe, ce qui permettrait de les franchir sans arrêt. A Lugano on fait coïncider les aiguillages avec l'un des arrêts obligatoires des tramways. De cette façon, les pertes de temps occasionnées par la manœuvre des trolleys sont peu sensibles.

Protection des lignes. — Les lignes doivent être protégées contre plusieurs sortes de dangers.

1° Si le fil vient à se rompre et à tomber sur le sol, il se produit un court circuit capable d'endommager les conducteurs et les machines. On évite cet inconvénient à l'aide de coupe-circuits fusibles, convenablement disposés.

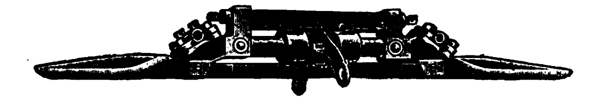


Fig. 44. — Interrupteur de ligne.

Généralement ces coupe-circuits ne se placent qu'à l'origine des feeders et sur les dynamos de l'usine. Mais on peut être amené à en monter sur la ligne elle-même.

On emploiera dans ce cas un appareil analogue à celui que représente la figure 44. C'est une sorte d'interrupteur calibré à sa partie inférieure de telle façon qu'il puisse être suivi sans secousse par le trolley. Il est soutenu par deux oreilles et des haubans tendeurs, comme un isolateur ordinaire. De part et d'autre se trouvent deux paliers de serrage que l'on réunit par des fils métalliques à une boîte d'inter-

ruption vissée sur l'un des poteaux. C'est dans cette boîte que l'on placera le fil fusible.

Un appareil ainsi disposé permet aussi de diviser la ligne en sections isolées, ce qui est commode pour la recherche des défectuosités d'isolement.

La compagnie Fives-Lille emploie un appareil analogue, mais il fonctionne automatiquement sans l'intermédiaire de fil fusible.

2° On doit empêcher que les fils téléphoniques ou télé-

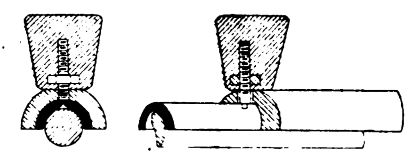


Fig. 45. — Garniture isolante pour la protection des lignes.

graphiques ne puissent, quand ils cassent, tomber sur les conducteurs aériens. A cet effet, ceux-ci sont protégés par des *fils de garde* qui sont constitués par des fils en fer ou en acier régnant parallèlement aux fils de trolley et à 50 cm environ au-dessus. Ces fils de garde sont tendus par des haubans isolés.

On peut éviter ces haubans en soutenant les fils de garde par des isolateurs fixés sur les supports mêmes des conducteurs aériens. Mais cela n'améliore évidemment pas l'aspect de la ligne.

Lorsque la zone à protéger est localisée on préférera souvent protéger les fils eux-mêmes, en les recouvrant d'une demi-garniture isolante (fig. 45).

Il faudra avoir soin d'employer des vis également isolées, afin que l'isolant soit continu.

3° Il faut enfin installer, en un certain nombre de points, des parafoudres pour l'écoulement de l'électricité atmosphérique lorsque le tonnerre vient à tomber sur la ligne. Des parafoudres se placent également, comme nous le verrons plus loin, sur les voitures et dans les usines.

CHAPITRE IV

DISTRIBUTION DU COURANT PAR CONDUCTEURS SOUTERRAINS

Dispositions générales. — Caniveau de Blackpool. — Caniveau de Budapest, système Siemens. — Système Love. — Système Connett. — Système de la General Electric Company. — Système Thomson-Houston. — Nouveau caniveau Siemens. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Electricité. — Système Hœrde. — Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville. — Galerie visitable de la Société d'Études françaises et étrangères.

Dispositions générales. — Dans le système que nous allons étudier, les conducteurs sont logés, comme nous l'avons déjà indiqué au chapitre premier, dans un caniveau établi sous la chaussée et ouvert suivant une fente longitudinale. La prise de courant se fait par un trolley inférieur ou par un frotteur. Mais, en raison de l'exiguïté de la fente, on ne peut transmettre le courant à la voiture, par une perche, comme dans le cas des conducteurs aériens. Il faut adopter un support plat qui puisse facilement glisser dans la rainure.

Un bon caniveau doit évidemment satisfaire aux conditions ci-après :

1° Être indéformable. En particulier, il faut que sous les lourdes charges qui circulent dans les rues ou sous la poussée du pavage en bois, quand la chaussée comporte un tel

mode de revêtement, les bords de la rainure ne se rapprochent pas jusqu'à empêcher le passage du plateau conducteur;

2° Assurer un écoulement rapide des eaux pluviales ou d'arrosage;

3° Être facile à nettoyer;

4° Permettre de changer les isolateurs et les conducteurs sans qu'il soit besoin de démolir la chaussée.

La rigidité du caniveau peut toujours être obtenue. Il suffit d'employer des ossatures appropriées aux efforts auxquels il faut résister.

Le nettoyage du caniveau et l'écoulement des eaux qui s'y introduisent est d'autre part bien facile à réaliser dans les voies où il existe un réseau d'égouts. On établira, tous les 100 mètres, par exemple, une communication entre l'égout et la galerie; l'eau pluviale ou d'arrosage s'y dirigera d'elle-même en suivant la pente du caniveau, c'est-à-dire celle de la rue. Quant aux boues et détritus, il suffira, pour les évacuer, de promener de temps en temps dans le caniveau un balai accroché aux voitures. On facilitera au besoin cette opération par un arrosage abondant.

Une chute de neige importante est un obstacle plus sérieux. Aux Etats-Unis, on a eu, de ce fait, à constater quelques arrêts ; mais il convient d'ajouter qu'à ce moment les autres tramways étaient également en détresse.

Ce qui paraît être plus gênant, c'est quand il se produit un dégel superficiel, alors que la température du sol est encore au-dessous de zéro. L'eau qui passe par la fente se gèle,

au contact des rails de rainure, et peut alors l'obstruer. On ne saurait toutefois s'effrayer de telles éventualités qui doivent se produire bien peu souvent et contre lesquelles il est d'ailleurs facile de se préparer.

La largeur de la rainure ne saurait être arbitraire. D'abord il ne faut pas que les roues des voitures ou des bicyclettes courent le risque de s'y engager. Ensuite elle doit être telle que les passants ne puissent établir de contact avec les conducteurs. Il est même désirable d'adopter une disposition telle que ceux-ci soient complètement invisibles du dehors.

A Paris, la largeur maxima imposée est de 29 mm. On descend encore plus bas en Amérique (20 mm).

L'appareil servant pour la prise du courant présente quelques sujétions particulières. En particulier il doit être muni de joues ou d'avant-becs en acier, afin de pouvoir chasser ou briser les pierres qui s'engageraient dans la rainure. Il faut aussi le protéger contre l'usure inévitable qui se produit pendant son déplacement, par suite de son frottement contre les bords de la fente. Mais il est nécessaire que, tout en étant très solide, il jouisse d'une certaine souplesse, de manière à se placer de lui-même bien au milieu de la rainure et à conserver son contact avec les conducteurs pendant les soubresauts de la voiture au passage des éclisses.

La fente par laquelle passe le frotteur se place soit dans l'axe de la voie, soit le long de l'un des rails.

La première disposition est d'un usage exclusif aux Etats-

Unis où, en raison de l'instabilité fréquente du sous-sol des rues, on cherche à avoir des voies bien symétriques. En Europe on préfère la deuxième qui a l'avantage de ne pas modifier l'aspect ordinaire des voies et de supprimer la surface glissante formée par les rails centraux.

Un grand nombre de caniveaux ont été exécutés ou proposés. Nous ne décrirons que les principaux.

Caniveau de Blackpool. — Ce caniveau, qui fonctionne depuis 1885, a été imaginé par M. Holroyd Smith.

Il se compose (fig. 46) de chaises en fonte de 30 cm de

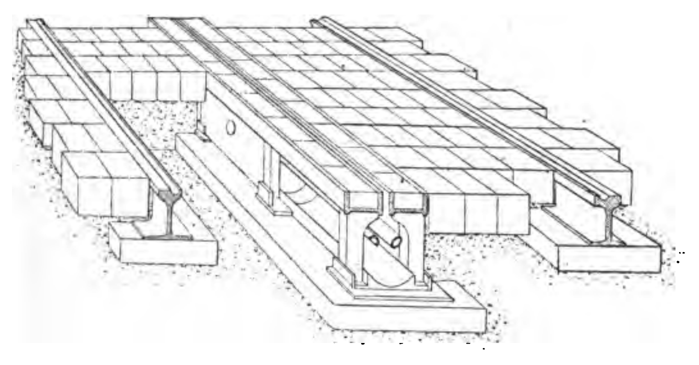


Fig. 46. — Voie avec conducteurs souterrains de Blackpool.

hauteur et de 33 cm de base placées dans l'axe de la voie tous les 1 m et raccordées d'une part par un radier en béton, d'autre part par des parois latérales en bois créosoté.

La couverture est fermée par de larges fers en U, reposant sur le dessus des chaises et présentant un écartement d'un demi-pouce. Le vide des fers est rempli avec des pavés en bois.

Primitivement les conducteurs étaient supportés par des isolateurs horizontaux encastrés dans la paroi en bois (fig. 47). Et, bien que le retour du courant se fit par les rails, on avait adopté deux conducteurs au même potentiel de 300 volts. Le trolley portait par suite deux frotteurs.

Mais à la suite de nombreux accidents[1], on a renoncé aux isolateurs non visitables et l'on a adopté des boîtes d'isole-

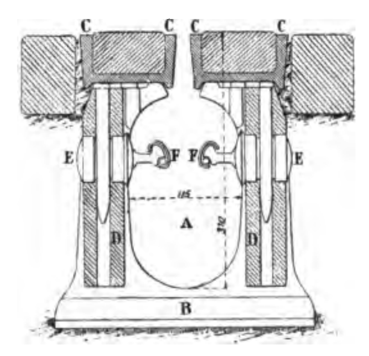


Fig. 47.
Ancien caniveau de Blackpool.

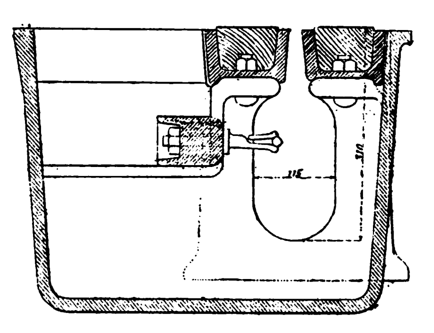


Fig. 48.
Nouveau caniveau de Blackpool.

ment qui sont placées tous les 3 mètres. En outre, pour dégager le caniveau, le nombre des conducteurs a été réduit de deux à un. La figure 48 donne une coupe transversale d'une boîte d'isolement. Comme le fond de cette boîte est plus bas que celui du caniveau, les boues viennent s'y accumuler. On les enlève après avoir ouvert la boîte. Il suffit également de soulever le couvercle pour inspecter l'isolateur.

[1] *Bulletin de la Société des ingénieurs civils.* Octobre 1895. Communication de M. Lavezzari.

L'ancien trolley est représenté par la figure 49. Il porte deux frotteurs reliés à une plaque de laiton C isolée que protègent une enveloppe en fonte et deux gardes en acier durci. A l'avant et à l'arrière se trouvent deux socs nettoyeurs en acier trempé. L'ensemble est supporté par des cordes qui cassent quand l'effort à vaincre dépasse une certaine limite. En même temps le conducteur souple qui relie le trolley à

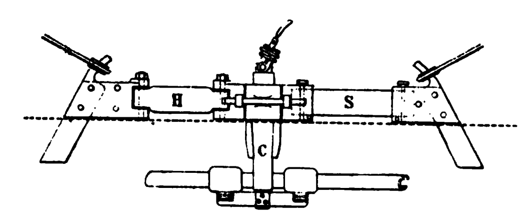


Fig. 49. — Tramway de Blackpool. — Appareil pour la prise de courant.

la voiture échappe à sa suspension et le courant se trouve alors interrompu.

L'élasticité des socs dans le sens latéral est obtenue soit à l'aide d'une lame en acier S, soit par une plaque en fer H et à charnière.

Le retour du courant se faisant par les rails, ceux-ci sont munis, bien entendu, d'un éclairage électrique.

Caniveau de Budapest, système Siemens. — Les tramways électriques à conducteurs souterrains de Budapest ont été établis par la maison Siemens et Halske, en 1889.

Le caniveau est placé sous l'un des rails qui forme aussi rainure.

Il est constitué par des panneaux ovoïdes en fonte de 0,33 m

sur 0,28 m espacés de 1,20 m. et raccordés par un canal en béton. Mais ce béton ne règne que jusqu'aux naissances. Au-dessus le canal est constitué par des briques que l'on peut enlever assez facilement lorsque l'on veut ouvrir le caniveau.

L'entretoisement des chaises est assuré par les rails-rai-

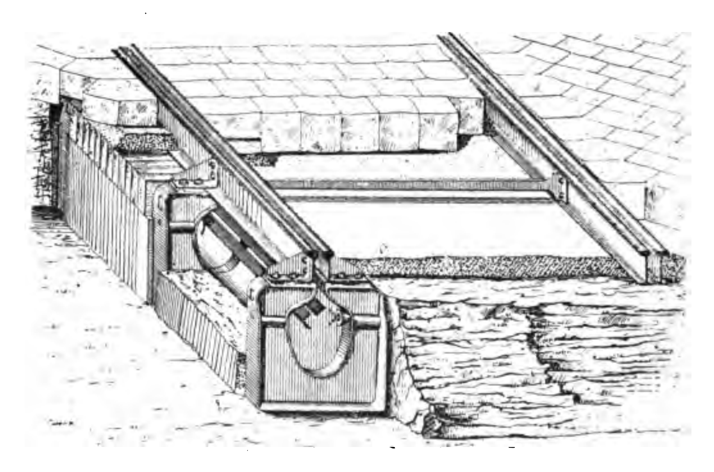


Fig. 50. — Caniveau de Budapest. — Coupe en voie courante.

nure qui sont du type Haarmann. Leur écartement normal est de 33 mm ; mais il atteint souvent 40 mm.

La liaison des chaises et des rails est assurée par des équerres en fer forgé. En outre, le rail-rainure et le rail extérieur de la voie sont solidement entretoisés.

La distribution se fait à 300 volts avec conducteur de retour. Les deux conducteurs sont constitués par des fers cornières de 65 mm de côté.

Ils sont soutenus par des isolateurs horizontaux en porcelaine scellés eux-mêmes dans des trous venus de fonte avec la chaise (fig. 51).

Le collecteur de courant a la forme d'une navette (fig. 52). Il est constitué par deux pièces frottantes dont la forme épouse celle des cornières et qui sont maintenues en contact avec celles-ci par des ressorts. Cette navette est suspendue à un cadre en bois fixé à la voiture. Au point de contact du cadre et de la rainure les

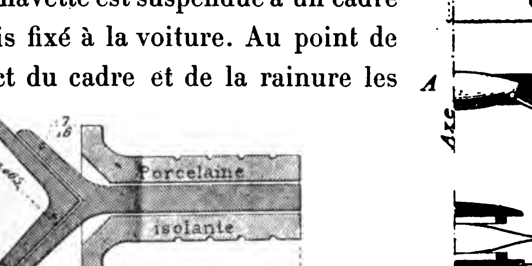


Fig. 51. — Coupe de l'isolateur et du conducteur.

Fig. 52. — Appareil pour la prise de courant. Demi-plan et demi-élévation.

montants sont protégés par une feuille de tôle mince. La communication entre les frotteurs et le moteur se fait par des fils isolés.

Dans ce système, comme dans tous les systèmes à caniveau, d'ailleurs, le point le plus délicat de la construction est constitué par les *aiguilles*. Force est alors d'adopter des caniveaux de forme spéciale, s'élargissant naturellement au fur et à mesure que l'on se rapproche de la pointe et se raccordant avec le caniveau de la voie sur laquelle on s'aiguille. La

figure 53 montre l'ossature compliquée que, pour ces cas particuliers, on a dû exécuter.

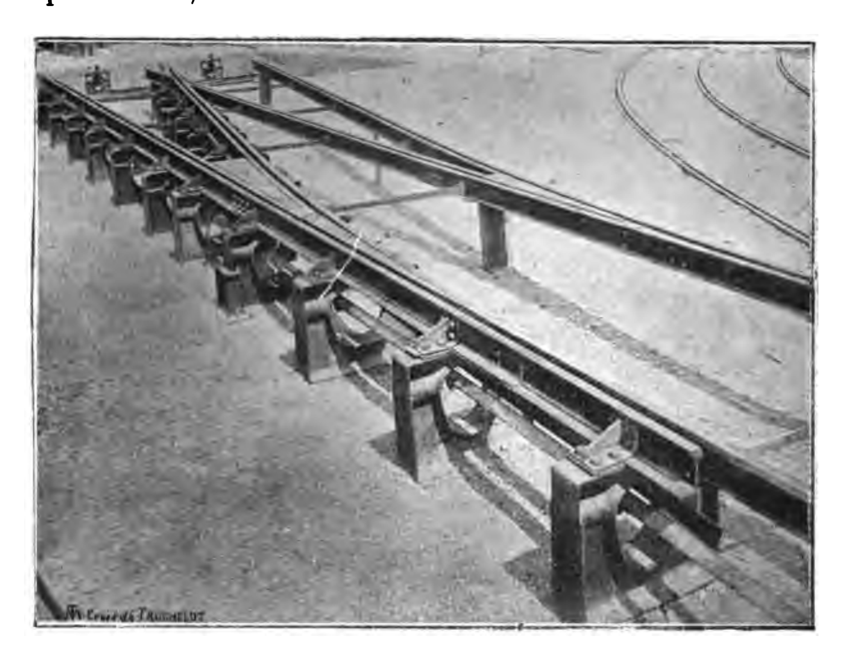


Fig. 53. — Caniveau de Budapest. — Aiguillage.

Système Love. — Une application intéressante de ce système existe, depuis 1893, dans *U. Street*, à Washington, où elle prolonge une ligne à trolley desservant la banlieue (*Rock Creek Railway*). Le gouvernement fédéral, refusant jusqu'ici l'autorisation d'installer des conducteurs aériens dans les rues[1], la compagnie qui exploite le tramway dut adopter

[1] Cette interdiction est absolument spéciale à la ville de Washington. On sait que celle-ci dépend non d'une municipalité, mais du gouvernement fédéral. On a souvent annoncé que telles ou telles cités américaines avaient décidé

le caniveau souterrain sur une longueur de 2 600 m [1].

L'élément constitutif du système Love est une traverse en fonte de 120 kg noyée dans du béton (fig. 54). L'espacement des traverses est de 1,20 m. Elles sont reliées par un canal en fonte de 15 mm d'épaisseur reposant sur une fondation en béton.

La rainure qui n'a que 20 mm est formée par deux rails

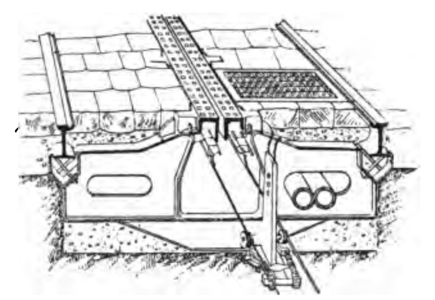


Fig. 54. — Caniveau système Love. — Coupe transversale.

plats, boulonnés sur les traverses et munis de rebords verticaux de 0,127 m.

C'est dans le petit espace compris entre ces rebords et la partie supérieure du caniveau que sont logés les conducteurs De cette façon ils sont inaccessibles et ne peuvent être atteints ni par la pluie, ni par les produits du balayage.

La distribution se fait à 500 volts, avec un conducteur d'aller et un conducteur de retour. Ces conducteurs, qui sont

l'expulsion radicale du trolley. Le fait est inexact. On a confondu les conducteurs aériens avec les *feeders* dont on exige maintenant, dans les grandes villes (exemple Boston), la pose souterraine.

1 Le système Love fonctionne également sur une ligne de tramways de Chicago.

en cuivre, rappellent comme forme un huit aplati (fig. 55). Ils sont soutenus par des pinces en métal à canon qui peuvent glisser le long de tiges horizontales.

Cette disposition permet aux conducteurs de se dilater et de se contracter selon les variations de la température. Quant aux tiges, elles sont fixées dans des blocs en matière isolante

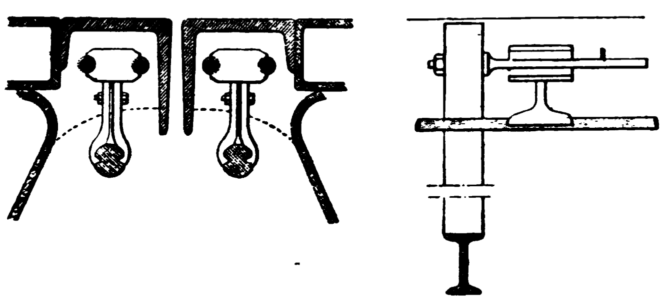


Fig. 55. — Système Love. — Détail des isolateurs.

(mica) faisant corps avec la traverse. En alignement droit on place une tige par deux traverses.

La prise du courant se fait par un trolley inférieur, avec deux roues de contact.

Les conducteurs isolés sont protégés par des plaques en acier.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés sur place, ces plaques résisteraient très bien à l'usure que produit leur frottement sur les rebords de la rainure. Elles dureraient environ un an.

Les rails rainures étant boulonnés sur les traverses, doivent être démontés lorsque l'on veut visiter ou réparer les isolateurs. C'est là un défaut grave du système. Les rails

ont en outre l'inconvénient de former une surface glissante pour le pied des chevaux, malgré le quadrillage dont ils sont munis.

Il est utile de pouvoir couper la ligne en des points assez rapprochés afin de procéder rapidement aux recherches de fuite.

A cet égard on a ménagé dans l'entrevoie, tous les 100 pieds, un regard dont on aperçoit la plaque de fermeture sur la figure 54.

C'est aussi par ces regards que l'on accède au trolley quand il a laissé échapper les conducteurs. Lorsque cet accident se produit, la voiture reste en panne, en attendant que la voiture suivante vienne la pousser jusqu'au plus prochain regard.

Le caniveau communique avec les égouts tous les 100 pieds, De cette façon l'évacuation de l'eau se fait toujours très rapidement.

Les feeders d'alimentation sont souterrains. Ils passent par les ouvertures existant dans l'âme des traverses.

Le passage de la ligne à trolley à la ligne à caniveau s'opère très rapidement. Le conducteur amène sa voiture au-dessus d'une petite chambre dans laquelle se tient un ouvrier prêt à poser le trolley inférieur. En quelques secondes l'appareil est accroché.

Le conducteur s'engage alors en se servant encore du fil aérien dans le caniveau et, quand le trolley inférieur a pris contact, il tire avec une corde sur le trolley supérieur, pour éviter que celui-ci ne subisse, pendant la marche, des oscillations dangereuses.

Le caniveau Love a donné lieu à Washington à quelques interruptions de service dues à ce que les bords de la rainure en se rapprochant ont empêché le passage du trolley. Aussi la *Love Traction Company* a-t-elle adopté un caniveau renforcé pour une ligne qu'elle vient d'établir dans la *Third Avenue*, à New-York. La figure 56, qui représente ce cani-

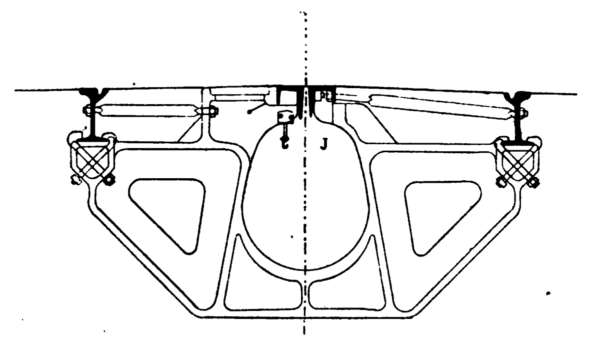


Fig. 56. — Caniveau système Love. — Nouveau type.

veau, montre que les rails-rainures sont solidement entretoisés avec les rails de roulement. En outre, on s'est préoccupé de rendre les isolateurs accessibles. Dans ce but, on a ménagé à la partie supérieure des traverses (de 4 en 4) des trous à main, communiquant avec les isolateurs. Ceux-ci, qui sont verticaux, peuvent se déplacer comme à Washington en glissant le long de barres en cuivre. Ils sont protégés contre l'eau qui pourrait passer par le couvercle du trou à main par un écran incliné.

On conçoit que l'on arrive de cette façon à accroître considérablement le poids des traverses. Une traverse avec trou d'homme de la Third Avenue pèse 375 kg.

Les conducteurs sont toujours en cuivre. Mais on leur a donné la forme d'un J.

Le trolley de Washington, qui a l'inconvénient d'aban-

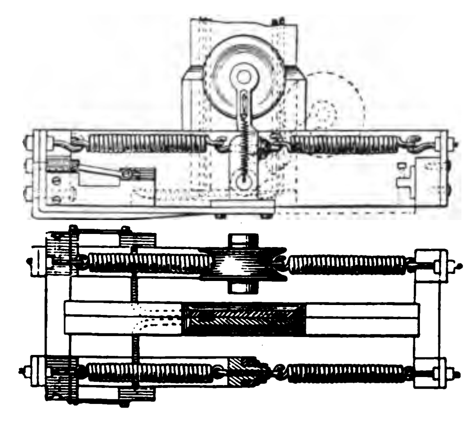


Fig. 57. — Caniveau système Love. — Trolley; plan et élévation.

donner parfois les câbles, a été également perfectionné (fig. 57).

Système Connett. — Le système de M. Connett fonctionne dans la neuvième rue de Washington, depuis le mois de juillet de l'année 1895 (*Metropolitan Railroad Company*).

Les traverses, en fonte, sont espacées de 1,38 m et raccordées par un canal en béton. La rainure est formée par deux rails en acier boulonnés sur les traverses, et laissant entre eux, au niveau de la chaussée, un vide de 29 mm. Ces rails sont de plus maintenus par des tirants qui prennent leur point d'appui sur deux saillies fixes ménagées sur les traverses.

La distribution se fait à 500 volts. Les conducteurs, au nombre de deux (aller et retour du courant), sont constitués par des fers à T à aile verticale.

Les isolateurs sont verticaux. Ils sont suspendus tous les 3,76 m par les rebords d'une petite boîte carrée de 20 cm/20 cm

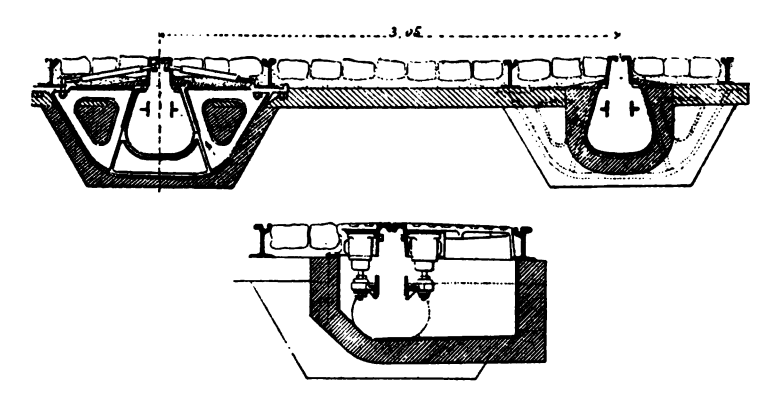


Fig. 58. — Caniveau système Connett. — Coupe en voie courante et coupe sur regard.

boulonnée avec les rails de rainure et munie d'un couvercle en fonte quadrillée.

Indépendamment de ces boîtes, il existe en regard et de l'autre côté de la rainure des trous d'homme permettant de visiter les conducteurs et les isolateurs. Ces trous, qui sont fermés par des plaques en fonte quadrillée, ont 50 cm/50 cm.

Avec ces dispositions on peut non seulement changer les isolateurs sans bouleverser les chaussées, mais il est aussi possible de remplacer les conducteurs eux-mêmes. A cet effet on a ménagé tous les 400 pieds, dans l'axe même de la voie, une ouverture mobile de 1 m de longueur sur 30 cm de lar-

geur. Grâce à cette ouverture on peut introduire dans le caniveau un rail conducteur entier (25 pieds). Pour l'amener en place il suffit de le suspendre par des cordes à un truck que l'on fait circuler au-dessus de la rainure.

La prise de courant se fait par des frotteurs maintenus par des ressorts entre les faces verticales des conducteurs. Ces frotteurs s'usent assez vite, mais comme ils ne coûtent que fr. 0,40 leur remplacement ne peut être considéré comme onéreux. La communication entre les frotteurs et les moteurs est assurée par des fils de cuivre isolés, protégés par des plaques en acier. Pour éviter que celles-ci ne s'usent trop rapidement, on les a suspendues à la voiture, de telle sorte qu'elles puissent osciller comme un pendule.

Système de la General Electric Company. — La *General Electric Company*, la plus puissante société électrique des Etats-Unis [1], a établi au commencement de l'année 1895 dans la *Lenox Avenue*, à New-York, pour le compte de la *Metropolitan Street Railway Company*, un caniveau souterrain de 2 400 m de longueur.

La traverse employée est un joug de funiculaire, ce qui s'explique par ce fait que la Metropolitan Street Railway Company avait voulu se réserver la possibilité de recourir à la traction par câble, dans le cas où les conducteurs souter-

[1] La *General Electric Company* est au capital de 250 millions de francs. Elle possède, à Schenectady, une immense usine (5 000 ouvriers), où elle fabrique annuellement pour 75 millions de marchandises. Dans une deuxième à Lynn, près Boston, elle occupe de 2 000 à 2500 ouvriers. Enfin, elle a, à Harrisson, une usine qui lui permet de livrer 3 000 lampes à incandescence *par jour*.

rains n'auraient pas donné de bons résultats. Le caniveau est en béton avec garniture en tôle, la rainure n'a que 20 mm d'ouverture.

La distribution se fait à 350 volts avec deux conducteurs. Ceux-ci sont en fer et ont la forme d'un U renversé. Leur

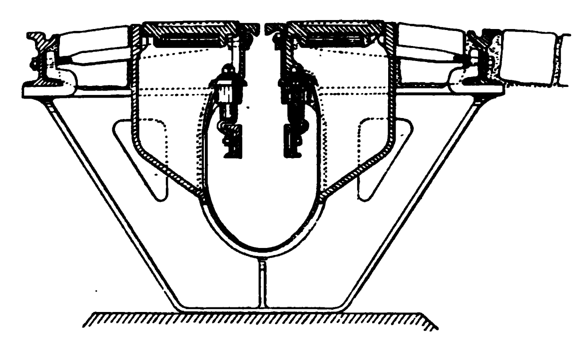


Fig. 59. — Caniveau de la General Electric Company.

isolement est obtenu de deux façons. Ou bien ils sont suspendus à des isolateurs verticaux, fixés par une tête en acier coulé aux rails de rainure et accessibles par de petits regards, ou bien, mais c'est l'exception, ils sont fixés à des blocs verticaux en stéatite reposant sur le radier de regards plus importants que les précédents et pouvant être assimilés à des trous d'homme.

La prise de courant est obtenue par des frotteurs en fer suspendus à un chariot qui passe par la rainure du caniveau et que la voiture entraîne avec elle (fig. 60). La partie en contact avec la rainure comprend deux plaques en acier, protégeant les câbles en cuivre qui conduisent le courant

récolté par le frotteur jusqu'au moteur. Ces câbles sont soigneusement isolés par des feuilles de mica.

L'usure des plaques n'est pas très rapide puisqu'elles peuvent parcourir 11 000 km avant d'être hors de service. Les frotteurs sont usés au bout de 3 000 km seulement; mais ils ne coûtent que 15 cent. Le chariot avec ses frotteurs, conducteurs et plaques de garde revient à 23 francs.



Fig. 60. — Frotteur pour la prise de courant.

Les réparations se font comme dans le système Connett. Ainsi, pour changer un rail de contact, on le dévisse par les regards et, en le suspendant à des cordes on l'amène jusqu'à des ouvertures longitudinales, espacées de 400 pieds, qui permettent de le sortir du caniveau.

Le système ayant donné de bons résultats, la General Electric Company l'a appliqué depuis, mais en l'améliorant, aux tramways de la 16e avenue (fig. 61).

Les principaux perfectionnements réalisés portent :

1° Sur l'isolateur qui est complètement indépendant du caniveau. La pièce qui le soutient est en effet scellée dans les parois d'un petit regard en béton. En sorte que si l'isolateur venait à s'avarier il n'y aurait pas contact à la masse, en raison de la mauvaise conductibilité du béton.

2° Pour permettre aux conducteurs de se contracter ou de se dilater sans se déformer, on leur a donné une section

cylindrique. Les mouvements de ces conducteurs, dans le sens longitudinal, sont d'ailleurs rendus possibles par la

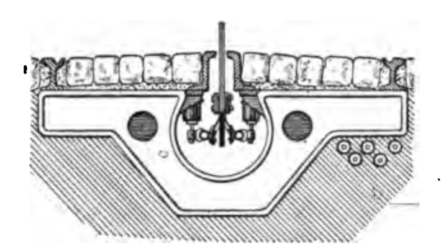


Fig. 61. — Caniveau de la General Electric Company. — Nouveau type.

suspension. A cet effet la vis qui fixe chaque conducteur à son support passe dans un trou à section elliptique.

Système Thomson-Houston. — La société allemande qui exploite les brevets Thomson-Houston (Union Elektricitäts-Gesellschaft) vient d'installer à Berlin[1], sur une ligne de 1 200 m de longueur, un caniveau que nous représentons par les figures 62 et 63. La ligne est à double voie et il existe un caniveau identique sous chacun des rails intérieurs. Pour soutenir ceux-ci, on a établi, tous les 1,20 m, des cadres en fonte ayant 72 cm de largeur à la base et que raccorde un canal en béton de 32 cm de largeur.

Les rails de rainure sont distants de 30 mm. Ce sont des rails Vignole avec patin à ergot qui s'oppose au renversement. Ils sont en outre fixés aux cadres par de forts boulons.

Les conducteurs, au nombre de deux (un pour l'aller et

[1] Le même caniveau va être appliqué à Bruxelles sur 16 km de longueur.

l'autre pour le retour du courant)[1] sont formés par de petits rails Vignole de 8 m de longueur. Ils sont supportés tous les 8 m par des isolateurs verticaux qui les soutiennent par leurs extrémités et qui forment en même temps éclissage électrique.

Les isolateurs sont fixés par leur partie supérieure à des

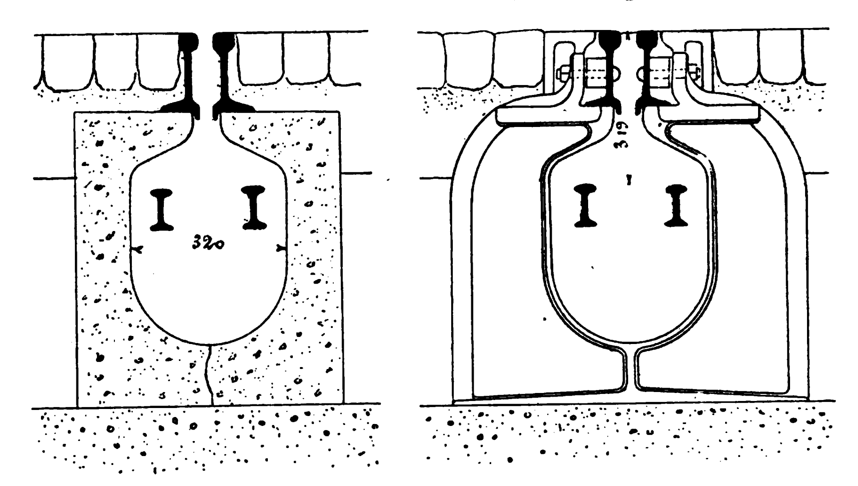


Fig. 62. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Coupe du caniveau.

Fig. 63. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Elévation d'un cadre en fonte.

boîtes en fonte, placées entre deux cadres exceptionnellement rapprochés de 80 cm. Ces boîtes, qui sont supportées à la fois par le rail-rainure et par les cadres, sont fermées par un couvercle en fonte quadrillée, arasé au niveau de la chaussée [2].

[1] La distribution se fait à 500 volts.
[2] Voir les isolateurs en élévation sur la figure 64.

On dispose d'un double isolement : d'abord au point de support des conducteurs; ensuite au point d'appui des isolateurs sur leur boîte.

La figure 64 représente une communication du canal avec les égouts. On a établi, entre les deux caniveaux, un puisard de 60 cm de largeur dans lequel s'accumulent les matières solides qui pénètrent par la rainure. L'évacuation des eaux se fait par un tuyau en fonte, à soupape, disposé de façon à arrêter les émanations et que l'on peut visiter en ouvrant un tampon de fermeture.

Le caniveau de Berlin prolonge, dans l'intérieur de la ville, une ligne établie dans les faubourgs avec conducteurs aériens et trolley. Pour pouvoir passer de l'une à l'autre section, on a combiné un appareil de prise de courant qui peut pénétrer aisément par la rainure. C'est un plateau autour duquel peuvent tourner deux frotteurs. Quand ces frotteurs sont rabattus le long du plateau, l'ensemble occupe, en épaisseur, moins de 30 mm, ce qui permet l'introduction du système dans le caniveau. Dès que les frotteurs ne sont plus retenus par la rainure, des ressorts les font tourner et les appliquent contre les conducteurs. Pour enlever l'appareil il suffit de tirer le plateau verticalement. Les frotteurs se rabattent d'eux-mêmes le long de cette pièce et passent par la rainure.

Le caniveau de Berlin vient d'être modifié par la société française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, en vue des installations que cette société se propose de réaliser à Paris, pour la traction par conducteurs souterrains.

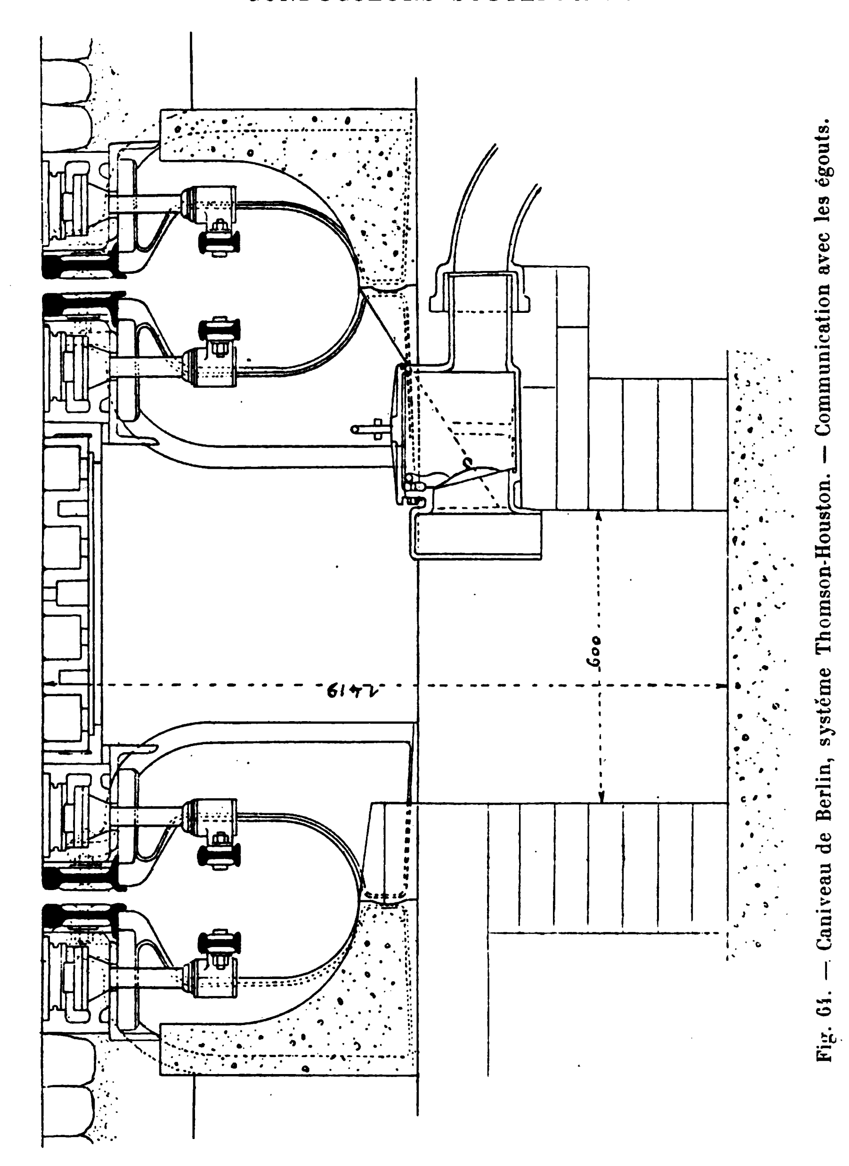


Fig. 61. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Communication avec les égouts.

La figure 65 donne la coupe de ce nouveau caniveau. Il diffère surtout de celui de Berlin par les isolateurs qui ne sont plus fixés à des boîtes en fonte soutenues par les rails et les cadres, mais qui sont supportés par des colliers horizontaux scellés dans les parois de petits regards en béton.

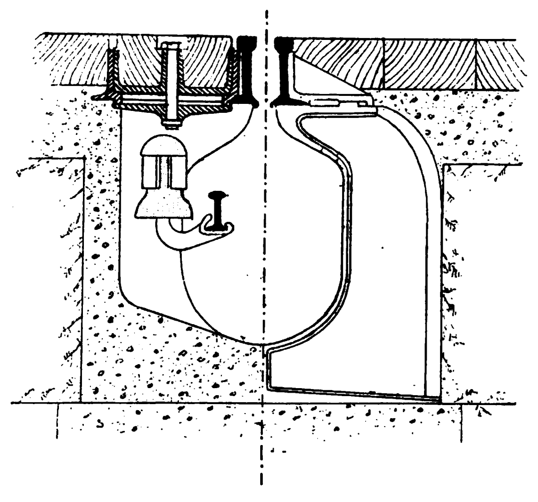


Fig. 65. — Caniveau de la Société française pour l'exploitation des brevets Thomson-Houston. — Demi-coupe par un tampon d'isolateur et demi-coupe en avant d'un cadre.

Ces regards sont fermés par des couvercles en fonte, garnis de pavés de bois.

Les rails conducteurs sont encore soutenus par leurs extrémités; mais, au lieu d'un seul isolateur formant en même temps éclissage, on prévoit l'installation de deux isolateurs espacés de 21 cm et supportant chacun un rail. La continuité du circuit sera assurée par un éclissage en cuivre.

Nouveau caniveau Siemens. — La maison Siemens qui a installé, comme nous l'avons dit, le caniveau de Budapest vient d'améliorer notablement ce système pour l'équipement de nouvelles lignes à Budapest et d'une ligne mixte à Berlin. Cette dernière ligne comporte une longueur de 7 km avec conducteurs aériens et archet et de 2 km avec conducteurs souterrains.

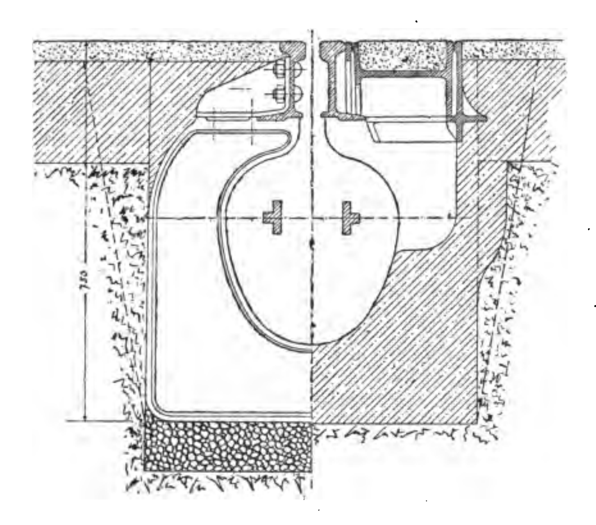


Fig. 66. — Nouveau caniveau Siemens.

L'amélioration principale porte sur les isolateurs qui ne sont plus horizontaux, mais verticaux. Il arrive, en effet, avec les anciens isolateurs de Budapest, que la boue se dépose sur le cylindre en porcelaine (fig. 51) dans lequel est fixée la fourche soutenant le conducteur et la chaise en fonte, c'est-à-dire entre le conducteur et la terre.

Les isolateurs nouveaux (qui sont espacés de 2,5 m) sont fixés à une tige verticale en fer, boulonnée sur le patin des rails, au milieu de l'intervalle formé par deux chaises consécutives, mais de deux en deux chaises seulement (espacement des chaises 1,25 m). On peut en outre les visiter et les dévisser en ouvrant de petites trappes de 20 cm de côté dont le couvercle est asphalté ou fermé par un pavé, suivant le mode de revêtement de la chaussée.

Les conducteurs ont été également modifiés. Au lieu de cornières on a adopté des fers à T, à aile verticale et âme très courte, boulonnés sur une mâchoire que supporte l'isolateur. Les dimensions de ces conducteurs sont telles qu'après avoir déboulonné les mâchoires, par les petites trappes des isolateurs, on peut à l'aide de pinces retirer ces conducteurs du caniveau en les faisant passer par la rainure. Avec l'ancien système, au contraire, les conducteurs et les isolateurs ne sont pas accessibles et il faut, pour les visiter ou les remplacer, éventrer complètement la chaussée.

A Berlin, comme la ligne est mixte, on a dû prendre des dispositions spéciales pour passer de l'une à l'autre section. A l'origine du caniveau, le radier se relève, en pente inclinée, jusqu'à rejoindre la rainure. D'autre part l'appareil de prise de courant est constitué par un plateau muni de frotteurs inclinés et, à sa partie inférieure, de deux galets de roulement. En voie courante ces deux galets sont suspendus au-dessus du radier du caniveau. Mais, au point de passage, ils viennent rouler sur la pente dont il a été parlé plus haut et ils font sortir l'appareil de prise de courant du

caniveau. Dans ce but on a disposé cet appareil de telle façon qu'il puisse se mouvoir verticalement en roulant le long des ailes d'un fer à T supporté par la voiture. Pour passer de la ligne à archet à la ligne à conducteurs souterrains, on laisse simplement retomber l'appareil.

Les frotteurs doivent pouvoir également entrer et sortir par la rainure. A cet effet ils peuvent, comme ceux que nous avons décrits en parlant du caniveau Thomson-Houston, tourner autour d'un axe horizontal de manière à se rabattre le long du plateau. Pour la sortie ils se rabattent vers le bas en heurtant le bord inférieur de la rainure. Quand le plateau s'engage au contraire dans le caniveau ils sont rabattus vers le haut. Des ressorts les maintiennent dans leur position normale.

Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. — Ce caniveau a été étudié par la Société Nouvelle d'Électricité, spécialement en vue de l'application de la traction par conducteurs souterrains aux rues de Paris. Il a été construit, à titre d'essai, dans la rue de Châteaudun sur une longueur d'environ 100 m. Cette rue, qui est pavée en bois, reçoit une circulation très intense.

Les chaises, qui sont excessivement robustes (elles pèsent 80 kg), ne sont espacées que de 80 cm. Malgré cela il a été reconnu que, sous la poussée du pavage en bois, la rainure s'était rétrécie en certains points de 2 à 3 cm. La largeur restante est encore bien suffisante pour le passage d'un trolley (nous avons dit qu'en Amérique on descendait jus-

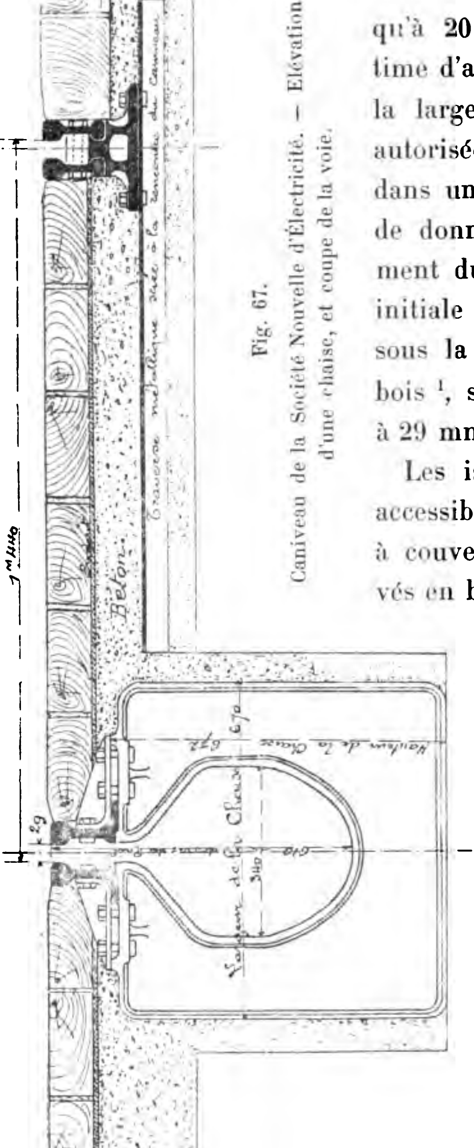


Fig. 67.
Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. — Élévation d'une chaise, et coupe de la voie.

qu'à 20 mm). La Société estime d'ailleurs que pour réaliser la largeur maxima de 29 mm autorisée à Paris, il lui suffirait, dans une installation nouvelle, de donner à la rainure, au moment du montage, une largeur initiale de 31 à 32 mm, laquelle, sous la poussée du pavage en bois [1], se réduirait d'elle-même à 29 mm.

Les isolateurs (fig. 68) sont accessibles par une petite trappe à couvercle creux, garni de pavés en bois. Par cette trappe on peut également dévisser les conducteurs auxquels on a d'ail-

[1] Cette poussée est due à ce que le pavé se gonfle sous l'action de l'humidité. Elle oblige fréquemment, dans les rues, à remanier les bordures de trottoir, malgré la précaution que l'on prend d'établir un joint en sable de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, le long du caniveau. Avec l'asphalte ou le pavé de pierre il ne se produit pas de poussée de ce genre.

leurs donné une forme telle que l'on puisse les sortir par la rainure.

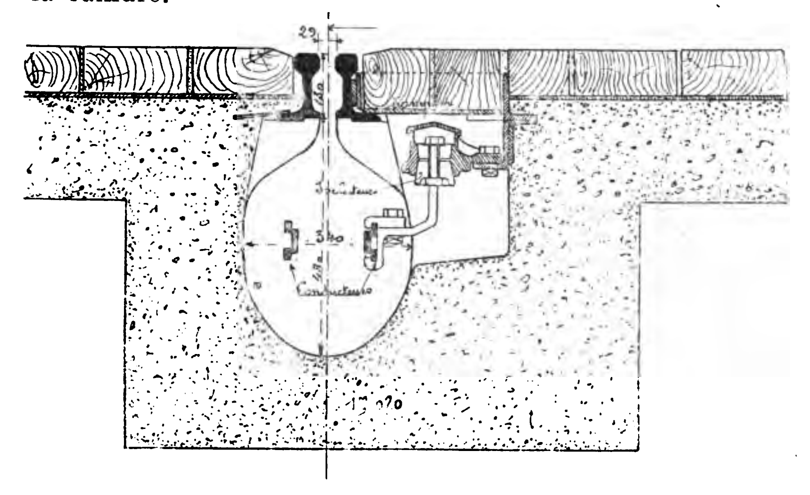


Fig. 68. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. Coupe à l'aplomb d'un isolateur.

Système Hœrde. — En combinant ce système, la *Société anonyme des Usines de Hœrde* a eu en vue de construire un caniveau notablement plus économique que ceux qui sont employés d'ordinaire pour la traction par conducteurs souterrains.

D'abord elle a supprimé tout canal en béton et le caniveau proprement dit, qui est en tôle, repose simplement sur le sol, comme une conduite d'eau.

Ensuite elle fait revenir le courant par les rails, comme dans une ligne à trolley.

Le canal, dont la forme est ovoïde (fig. 69), a 22 cm de largeur et 51 cm de hauteur, entre le fond et les bords de la rainure. Celle-ci, qui a 30 mm de largeur, est formée par

un rail de roulement et par un rail de forme spéciale, à surface striée, boulonné sur le bord du canal. Ce rail rappelle, comme le montre la figure, le rail-rainure du système Love. On conçoit qu'en le déboulonnant on puisse visiter assez rapidement tout l'intérieur du caniveau.

Afin d'éviter la bande glissante que forme le rail-rainure à la surface de la chaussée, la Société des usines de Hœrde adopte, dans ses nouveaux types (fig. 70) un rail-rainure à auget qu'elle recouvre avec des pavés ou avec de l'asphalte.

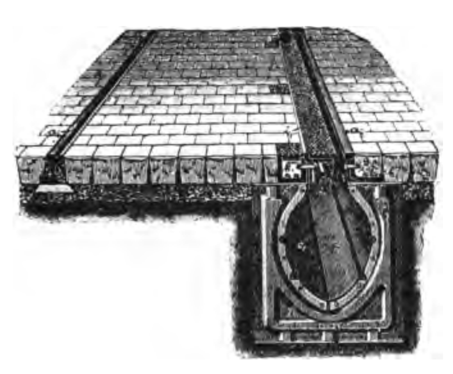


Fig. 69. — Caniveau Hœrde.

Les isolateurs qui supportent le conducteur souterrain sont en porcelaine. Ils portent, à leur partie supérieure, une saillie en forme de queue d'aronde par laquelle ils sont fixés à des boîtes en fonte que l'on peut inspecter en ouvrant un couvercle arasé au niveau de la chaussée.

Pour que le canal métallique puisse être posé sans fondation dans le sol, il faut qu'il soit très résistant. Aussi est-il constitué par des plaques en tôle d'acier plissé de 5 mm d'épaisseur. Et, tous les 1,5 m il est consolidé par des cadres également en tôle d'acier, de 7 mm d'épaisseur, ayant 0,62 m. de largeur et 0,65 m. de hauteur.

Une objection que l'on peut faire immédiatement au sys-

tème, c'est que le caniveau, au contact des eaux d'infiltra-

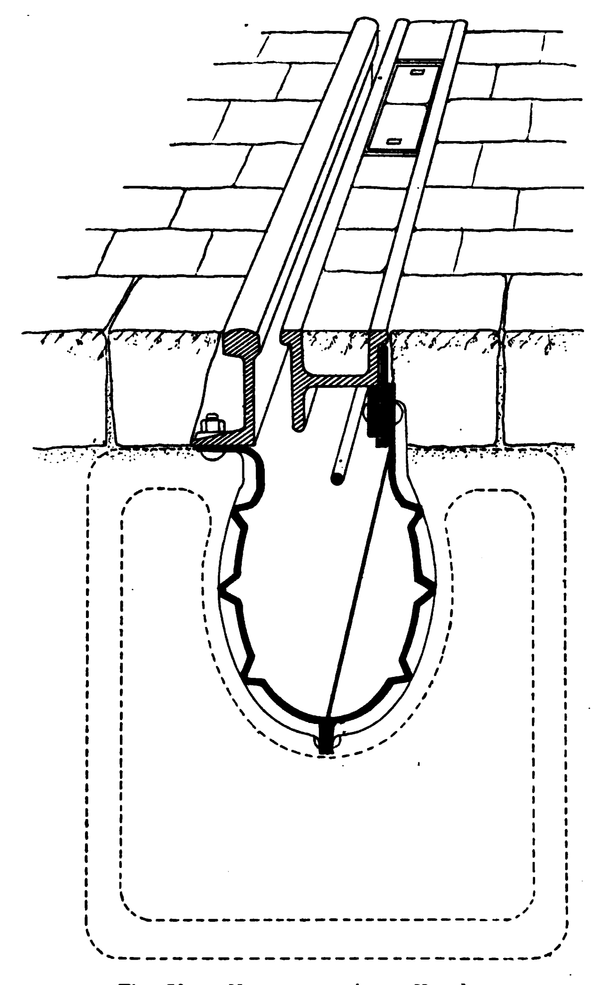


Fig. 70. — Nouveau caniveau Hœrde.

tion ou de pénétration, pourra se rouiller et se détériorer. La

Société estime que cet inconvénient n'est pas à redouter, étant donné que toutes les pièces qui peuvent craindre l'oxydation sont placées, avant leur expédition, dans un four

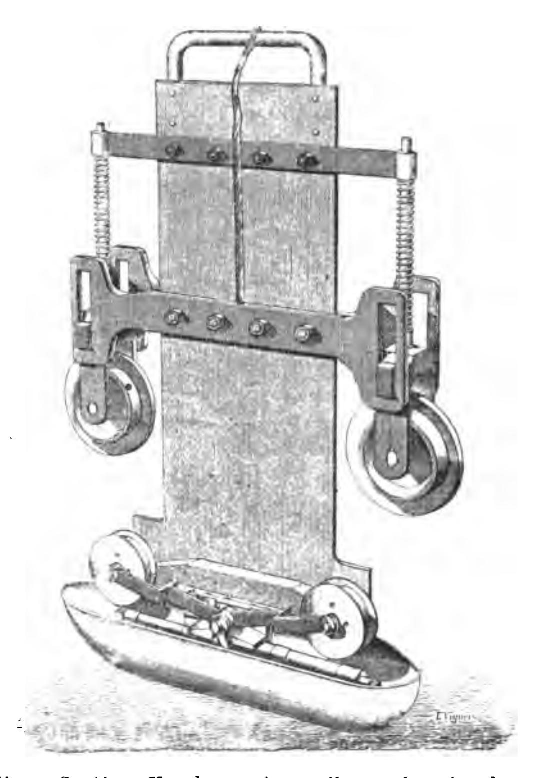


Fig. 71. — Système Hœrde. — Appareil pour la prise de courant.

à réchauffer, puis plongées dans un bain d'asphalte et de goudron.

Le trolley présente cette disposition particulière (fig. 71), qu'il roule sur les rails par des galets, en même temps que

la voiture se déplace. On remarque en outre qu'il est garanti, à sa partie inférieure, par une sorte de bateau, dont le but est d'empêcher l'eau d'atteindre les pièces de contact, dans le cas où le caniveau viendrait à être accidentellement envahi.

Bien entendu le caniveau doit être relié de distance en distance avec les égouts.

Le caniveau Hœrde pèse 160 kg par mètre courant.

Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville[1]. — Nous citons ce système, surtout parce qu'il utilise une

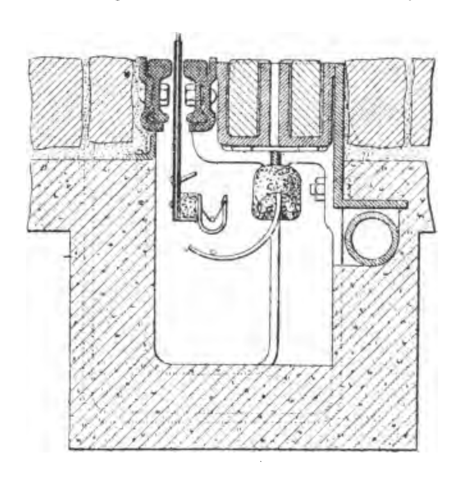


Fig. 72. — Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville.

disposition originale, que nous n'avons rencontrée dans aucun des caniveaux que nous venons d'examiner. Le con-

[1] *Bulletin de la société des ingénieurs civils de France.* Octobre 1895.

ducteur, au lieu d'être rigide, est constitué par un fil reposant sur des crochets placés dans le caniveau, tous les 10 m.

L'appareil de prise de courant porte un autre crochet, qui peut passer au-dessus du premier, et qui soulève le fil de quelques centimètres. Il peut, dans ces conditions, circuler librement dans le caniveau, tout en maintenant son contact avec le conducteur. Au fur et à mesure qu'il s'éloigne, le fil s'abaisse et finit par retomber sur le crochet fixe. Bien entendu, ce crochet est isolé. De petits regards ménagés sur la chaussée le long des rails (qui forment ici la rainure) en permettent la visite.

Comme dans tous les systèmes à un conducteur, le retour du courant se fait par les rails.

Galerie visitable de la Société d'Études françaises et étrangères. — Cette galerie est prévue pour l'alimentation du tramway, à voie de 1 m, qui doit relier la place Cadet à la porte de Montmartre (Paris)[1]. Elle a la forme d'une galerie d'égout coupée au niveau des naissances. La voûte est ici remplacée par des poutrelles en fer de 20 cm de hauteur (fig. 73 et 74) reposant sur les piédroits par l'intermédiaire de semelles en fonte et que réunissent des voûtes en briques. L'espacement de ces poutrelles est de 1 m. La hauteur libre de 1,7 m, qui existe entre le fond du radier et le sommet des voûtes, permet à un homme de se tenir debout dans la galerie et d'y circuler librement. De plus, pour faciliter le transport des matériaux, on a disposé dans

[1] La longueur de la ligne est de 2 820 m.

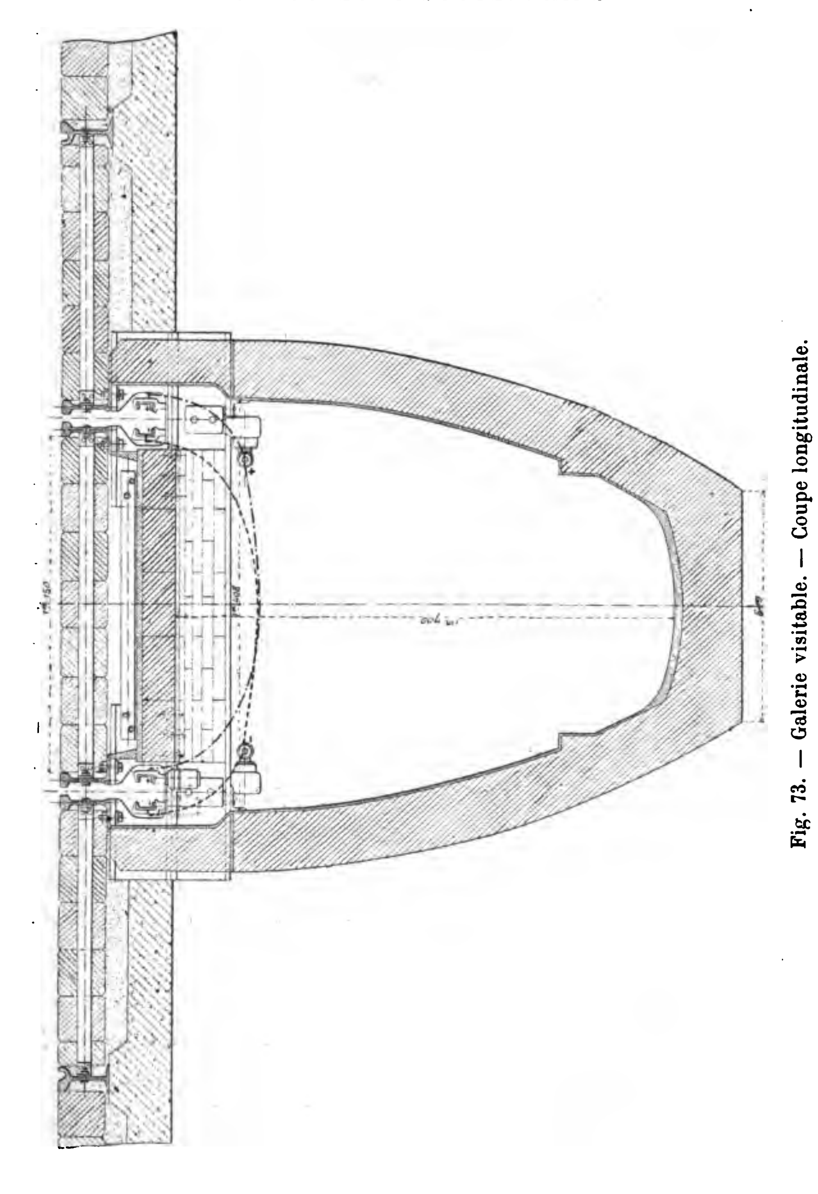


Fig. 73. — Galerie visitable. — Coupe longitudinale.

les piédroits, des saillies munies de fers cornières qui constituent une petite voie de roulement pour des wagonnets.

Le caniveau proprement dit est formé par des pièces d'acier découpées, rivées sur les poutrelles et laissant entre elles un espace libre de 13 cm de largeur sur 20 cm de hauteur. Cet espace est suffisant pour que l'on puisse y loger les deux conducteurs d'aller et de retour. Ceux-ci sont en acier et en forme d'un U renversé. Ils sont supportés par des isolateurs fixés aux poutrelles.

On a profité, avec raison, de la place dont on dispose dans la galerie pour y loger les feeders d'alimentation. Ceux-ci communiquent avec les conducteurs de distribution tous les 100 m.

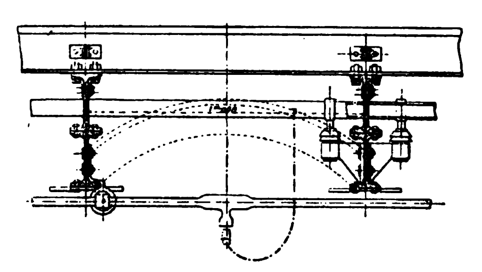


Fig. 74. — Galerie visitable. — Coupe transversale par l'axe de l'un des caniveaux.

La figure 73 représente une coupe de la galerie dans une partie à double voie. L'axe coïncide avec l'axe de l'entre-voie. Les caniveaux qui contiennent les conducteurs sont placés sous les rails intérieurs qui forment eux-mêmes la rainure par laquelle pénètrent les frotteurs.

Dans les parties à simple voie, la galerie conserve la même forme et les mêmes dimensions ; mais, naturellement, il n'existe qu'un seul caniveau.

On conçoit qu'un tel système de distribution doive être

notablement plus coûteux que ceux que nous avons étudiés jusqu'ici [1]. En outre, dans les rues de largeur moyenne et où les égouts sont généralement situés dans l'axe des chaussées, c'est-à-dire dans l'axe même du tramway, on est forcément amené, pour pouvoir construire la galerie, à déplacer ces égouts ou à les approfondir. On peut être aussi gêné par les conduites d'eau ou de gaz.

Aussi, un tel système ne paraît-il admissible que dans les rues à circulation excessivement intense.

On pourrait cependant le simplifier notablement, en rétrécissant un peu la galerie et en ne lui donnant qu'une hauteur de 90 cm environ, suffisante pour qu'un homme puisse y circuler, assis sur un chariot bas.

Ce qu'il faut surtout rechercher, dans un caniveau, c'est de pouvoir accéder facilement aux isolateurs, afin de les visiter périodiquement et de les changer rapidement s'ils venaient à brûler ou à se détériorer. Or, pour cette besogne, fort simple, on n'a pas besoin de pouvoir se promener dans une galerie comme dans un égout.

Une petite galerie, combinée d'après ces principes, reviendrait, en somme, sur les lignes à double voie, à un prix comparable à celui du double caniveau [1], tout en offrant un coefficient de sécurité beaucoup plus grand.

[1] Voir chapitre IX pour les dépenses.

CHAPITRE V

DISTRIBUTION DU COURANT PAR CONDUCTEURS INTERROMPUS ÉTABLIS AU NIVEAU DU SOL

Considérations générales. — Système Claret et Wuilleumier. — Système de la Westinghouse Company. — Système Diatto.

Considérations générales. — Au premier abord, ce système paraît beaucoup plus simple que les autres, puisqu'il permet de supprimer et les poteaux qui supportent les conducteurs aériens, et la rainure qui, avec le caniveau souterrain, crée une solution de continuité dans la chaussée. Mais, en réalité, l'infrastructure électrique est notablement plus compliquée.

Il faut, en effet, pour électriser les conducteurs au moment précis où ils sont couverts par la voiture et à ce moment-là seulement, des appareils nombreux et presque toujours délicats, car ce n'est qu'à l'aide de contacts successifs, c'est-à-dire d'organes mobiles que l'on peut envoyer le courant dans les différents branchements. Ces appareils, appelés *distributeurs*, sont placés ou sous chaussée, ou sous trottoir dans des boîtes arasées au niveau du sol qui les mettent à l'abri de la boue et des eaux d'infiltration. On ne peut évidemment, sous peine de gêner la circulation, que les surveiller de loin

en loin. Or, des appareils en mouvement nécessiteraient, au contraire, une surveillance assidue. Par suite, quelques accrocs sont inévitables, et tout ce que l'on peut faire, c'est de prendre ses dispositions pour pouvoir intervenir rapidement en cas d'arrêt.

Le courant lancé par les distributeurs se rend, à l'aide de branchements, dans les conducteurs ou plots de contact sur lesquels les voitures prennent le courant. Il faut au moins deux plots pour une longueur de voie égale à la longueur d'une voiture, car le courant se trouverait interrompu si, en quittant l'un des contacts, ce frotteur ne se trouvait pas déjà sur le contact suivant. On juge par là de la multiplicité des branchements. Or un branchement constitue toujours un point faible dans une canalisation. Il y a, par suite, avec les conducteurs établis au niveau du sol, beaucoup plus de probabilités qu'avec les autres systèmes pour que l'isolement ne se maintienne pas dans des conditions tout à fait satisfaisantes.

Enfin, on peut se demander si la masse isolante qui entoure chaque plot de contact et qui non seulement est exposée aux intempéries, mais qui subit encore une action destructive évidente du fait de la circulation ne perdra pas rapidement de son efficacité. Il convient toutefois de remarquer que, par un temps sec, les fuites de courant ne seront jamais bien considérables, car les chaussées sont généralement mauvaises conductrices de l'électricité.

Ces critiques faites, nous reconnaîtrons volontiers que le système présente un certain nombre d'avantages bien

marqués. Il est, en particulier, notablement moins coûteux que le caniveau et c'est là probablement ce qui explique pourquoi certaines villes, absolument hostiles au trolley, n'ont pas hésité à l'adopter.

Nous ne chercherons pas à résumer ces considérations générales par une conclusion ferme pour ou contre les conducteurs interrompus. Les applications que l'on en a faites sont en réalité trop récentes pour que l'on puisse se prononcer actuellement à leur égard en parfaite connaissance de cause.

Un grand nombre de systèmes ont été proposés. Nous nous bornerons à examiner ceux qui ont été appliqués ou qui ont donné lieu à des essais suivis.

Système Claret et Wuilleumier. — Dans une première application qui a été faite à Lyon, à l'occasion de l'exposition de 1894, les conducteurs étaient formés par des rails Vignole, renversés, arasés au niveau de la chaussée et noyés dans une matière isolante. Ces rails avaient 3 m de longueur et étaient placés tous les 3 m. Ils avaient l'inconvénient de former, sur la chaussée, une surface glissante pour le pied des chevaux. Aussi, en appliquant leur système au tramway allant de la place de la République à Romainville (Paris), MM. Claret et Wuilleumier ont-ils remplacé ces rails de contact par de simples pavés métalliques, posés tous les 2,5 m. La prise de courant, qui se faisait à Lyon avec deux balais métalliques accrochés sous chaque voiture, est assurée à Paris par de longs frotteurs.

La figure 75 montre la disposition schématique de la distribution[1]. G est la dynamo placée à la station centrale; son pôle positif est relié au câble armé K placé sous trottoir, son pôle négatif aux rails R, qui forment retour pour le courant.

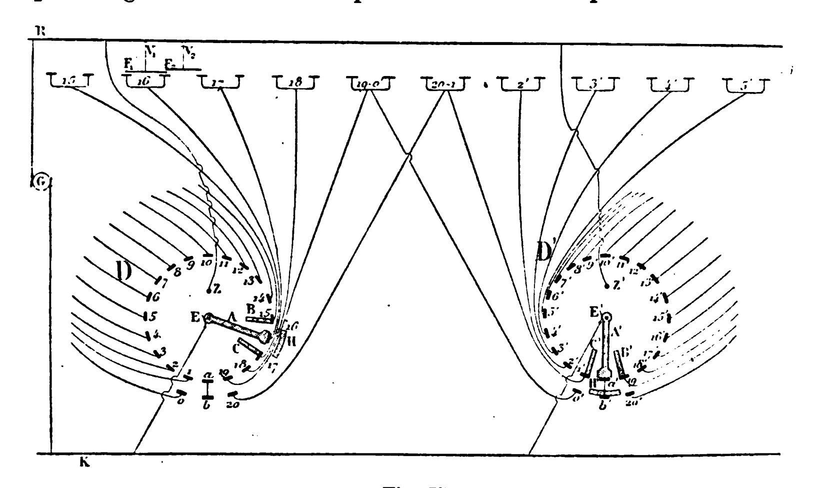


Fig. 75.
Tramway Claret et Wuilleumier. — Fonctionnement des distributeurs.

D et D' sont deux *distributeurs* voisins logés sous trottoir dans des boîtes en fonte. Chacun d'eux commande 20 groupes de 2 pavés, l'un des groupes (20-1) étant commun aux deux distributeurs.

Les distributeurs sont tous identiques. Ils comportent une couronne de contacts 1, 2, 3....., 19, *a* et trois contacts supplémentaires *o*, *b*, 20. La partie mobile est constituée par quatre frotteurs A, B, C, H reliés mécaniquement, quoique

[1] *Revue générale des sciences* (15 avril 1896). *Un nouveau mode de traction électrique*, par M. Lauriol, ingénieur des ponts et chaussées.

isolés entre eux et tournant autour d'un même axe E. Cet axe, qui appartient au frotteur A, est, d'autre part, constamment relié au câble K, c'est-à-dire, puisque la distribution se fait à 500 volts, qu'il est lui-même à 500 volts.

Marche avant. — Dans la position indiquée par la figure le distributeur D' est au repos. Le distributeur D met en charge, au contraire, par A et le plot 16, le groupe de pavés de même numéro. Si, à ce moment, la voiture est en V_1, le courant pourra la traverser, grâce au frotteur F_1, et elle se mettra en mouvement vers le groupe de pavés n° 17.

Dans la position F_2, le frotteur est à la fois sur 16 et 17. Le pavé 17 se trouvant ainsi électrisé, il en est de même du contact 17 et par suite du frotteur C. Or, à ce moment, le contact C, grâce à une combinaison que nous allons décrire plus loin, agit sur un électro-aimant qui fait tourner le distributeur d'un cran. A vient en 17, et le groupe de pavés n° 17 se trouve directement électrisé. La voiture avance, envoie une dérivation sur le contact 18, le distributeur tourne d'un cran, électrise les pavés n° 18 et ainsi de suite.

Lorsque le frotteur A est arrivé sur le contact *a*, lequel est relié à *b*, le frotteur H couvre *b* et 20. Le groupe de pavés 20-1 se trouvant électrisé, une dérivation va en C' et par suite fait avancer d'un cran le distributeur D'. Ce distributeur va donc fonctionner, à son tour, comme le distributeur D et la voiture continuera sa course.

Marche arrière. — Cette marche est assurée par le frotteur B, qui agit comme le frotteur C, mais qui fait tourner le distributeur de droite à gauche.

Rotation du distributeur. — Ce mouvement est produit comme l'indique la figure 76.

Nous venons de voir que lorsque le frotteur A était sur 16

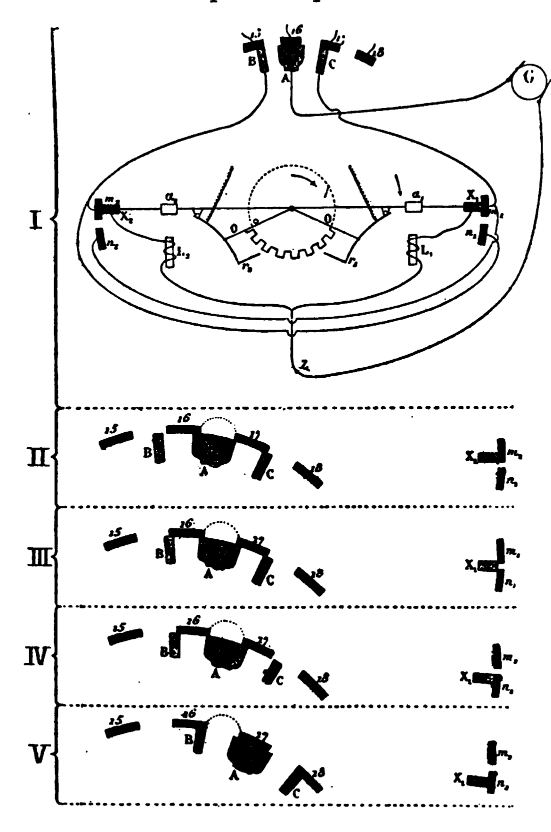


Fig. 76. — Rotation du distributeur.

et la voiture en V_2 une dérivation revenait au frotteur C par le groupe de pavés 17 et par le contact 17.

Les diagrammes I et II montrent que le courant va de C

au contact M_1, puis au frotteur X_1, puis au point Z qui est relié au pôle négatif de la dynamo (le point Z est également marqué sur la figure 75). Sur son chemin il actionne l'électro-aimant L_1, lequel attire alors l'armature A_1 et par suite tout le bras $X_1\ a_1\ a_2\ X_2$ qui tourne autour de l'axe du distributeur. Dans ce mouvement, le cliquet r_1 s'engage dans la roue dentée O et la fait tourner, en entraînant les frotteurs A, B, C, H avec lesquels elle est solidaire.

Mais on ne peut faire ainsi tourner ces frotteurs que d'un demi-cran puisque (ainsi que le montre le diagramme n° IV) le frotteur C n'est plus électrisé, lorsque A est à cheval sur les contacts 16 et 17. C'est alors qu'intervient le frotteur B, lequel établit une dérivation par $n_1\ X_1\ L_1\ Z_1$. Cette fois, c'est le cliquet r_2 qui agit.

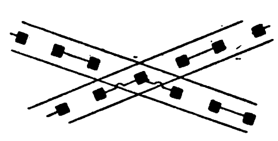


Fig. 77. — Croisement.

Quand le frotteur A est arrivé exactement sur 17, on retrouve le diagramme I, sauf que tous les frotteurs ont tourné d'un cran. Le courant de l'électro L_1 est alors interrompu et, grâce à des ressorts, le bras $X_1 X_2$ revient dans sa position primitive.

L'électro L_2 sert pour la marche en arrière.

Croisements (fig. 77). — On place un pavé de contact au centre de la croisée et on fait le groupement des pavés deux par deux entre eux et avec les contacts des distributeurs, en traitant chaque ligne comme si l'autre n'existait pas.

Aiguillage. — La figure 78 montre une disposition d'aiguillage. La voie simple est commandée par le distributeur D,

les deux voies de bifurcation par les distributeurs D′ et D′.

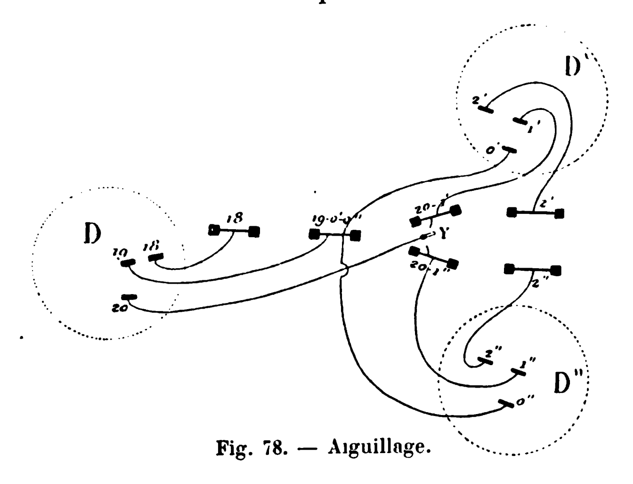


Fig. 78. — Aiguillage.

L'appareil Y est une aiguille électrique qui met le contact 20 en communication soit avec les pavés 20-1′, soit avec les pavés 20-1″. On la pousse du côté sur lequel (en prenant l'aiguille en pointe) on veut se diriger.

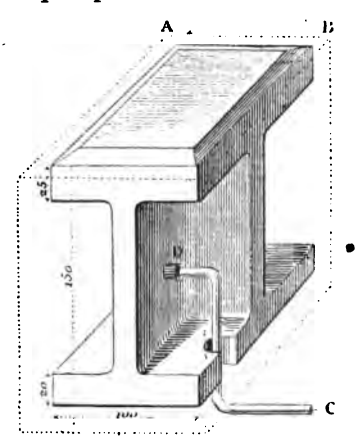


Fig. 79. — Pavé de contact.

Quand on vient de la bifurcation sur la voie simple, la manœuvre de l'aiguille est inutile, comme il est facile de le voir, à l'inspection de la figure.

Pavés de contact. — Les pavés de contact sont en fonte[1] et ont la forme indiquée par la

[1] Des pavés en acier eussent été préférables.

figure 79. Leur saillie sur la chaussée n'est que de 5 mm. Des épauffrements latéraux la rendent encore moins sensible.

Ces pavés sont noyés dans une masse isolante, formée de brai et de bitume et dont les limites sont marquées en pointillé sur la figure.

L'alimentation est assurée par un fil de cuivre nu, logé dans une rainure où l'on coule également un mélange en

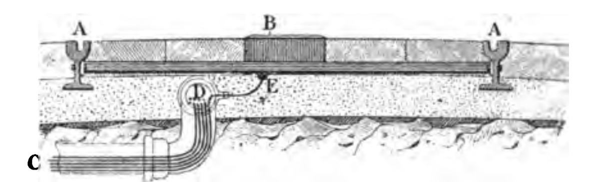


Fig. 80. — Coupe transversale de la voie.

brai et de bitume. La jonction des pavés et du fil se fait par frottement dur, à l'aide de bagues en cuivre que l'on enfonce dans des trous fraîchement alésés.

La figure 80 est une coupe transversale de la voie, montrant l'arrivée des fils d'un distributeur. Ceux-ci, au nombre de 20, sont isolés au caoutchouc et réunis dans un tuyau en fonte C. Entre les rails court un autre tuyau en fonte D d'où s'échappent, finalement, les fils alimentant les pavés.

Le tramway de la place de la République à Romainville, dont la longueur est de 7 km, n'est en service que depuis le 1er juin 1896. Il serait donc prématuré de se prononcer actuellement sur la valeur du système appliqué.

L'administration, en accordant la concession du tramway à M. Claret, a d'ailleurs jugé qu'une expérience d'au moins

deux ans serait nécessaire. C'est alors seulement qu'elle décidera si le système peut être conservé.

Système de la Westinghouse Company. — Le système que préconise la Westinghouse Company[1] et qui a été appliqué par elle à Washington et dans ses ateliers de Pittsburg comporte des organes de distribution plus nombreux mais certainement plus simples que dans le système Claret et Wuilleumier.

Les pavés, qui sont remplacés ici par des boutons de contact, sont doubles. Chaque groupe est commandé par un distributeur spécial que l'on peut placer dans l'entre-voie ou sous les trottoirs. La voiture est munie de deux frotteurs, à raison d'un par bouton. L'un de ces frotteurs F_1 est relié au pôle positif d'une petite batterie d'accumulateurs, portée par la voiture et dont le pôle négatif est à la terre (rails) ; et l'autre F_2 communique avec le moteur dont le second pôle est également à la terre par les rails.

Le *distributeur* présente schématiquement (fig. 81) un électro-aimant E, qui peut attirer une armature A munie de deux contacts en charbon. Dans la boîte du distributeur se trouvent également deux autres contacts C_1 et C_2. Le premier communique par un câble isolé avec le pôle + de la dynamo génératrice ; l'autre est relié au bouton B_2 par un fil à grosse section qui s'enroule, avant de quitter la boîte, sur la partie

[1] La Westinghouse Company est, après la General Electric Company, la plus puissante société industrielle s'occupant de traction électrique aux États-Unis.

inférieure de l'électro-aimant. L'enroulement supérieur de l'électro-aimant est formé par un fil allant d'une part au bouton B_1 et d'autre part à la terre [1].

On voit, dans ces conditions, comment fonctionne le sys-

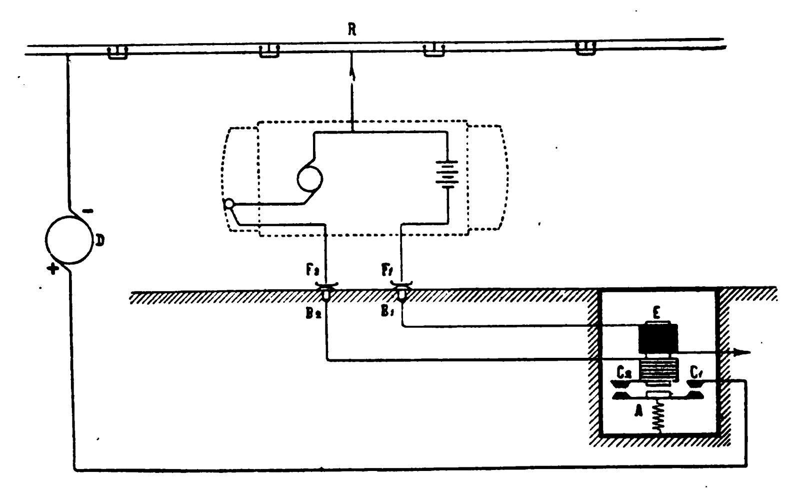


Fig. 81. — Système de la Westinghouse Company. — Fonctionnement des distributeurs.

tème. Quand la voiture arrive dans la position représentée par la figure, la batterie d'accumulateurs actionne par le frotteur F_1 l'électro-aimant du distributeur. Aussitôt les contacts C_1 et C_2 se ferment et le bouton B_2 se trouve mis en charge. Comme à ce moment le frotteur F_2 est sur B_2, le courant de la dynamo génératrice peut arriver au moteur et faire avancer la voiture. Au préalable il a traversé l'enrou-

[1] En réalité, les deux boutons B_1 et B_2 sont dans un même plan normal à la voie ; nous les avons ramenés dans le plan longitudinal de la figure pour la commodité de la démonstration.

lement à gros fil de l'électro-aimant. Il a donc renforcé l'action de l'enroulement à fil fin et serré énergiquement les contacts[1].

Dès que les frotteurs F_1 et F_2 ont quitté les boutons B_1 et B_2, la force attractive de l'électro-aimant disparaît ; l'armature A attirée par un ressort se dégage et les contacts se trouvent rompus. Mais si, à ce moment, la voiture se trouve déjà sur les boutons voisins elle sera alimentée par le dis-

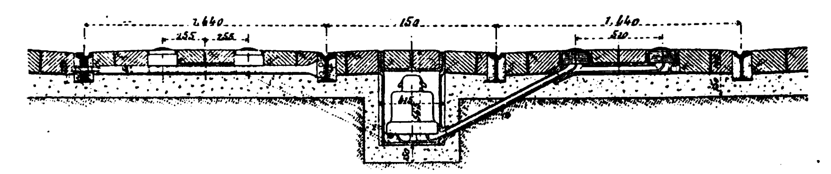


Fig. 82. — Coupe transversale de la voie.

tributeur suivant et pourra continuer sa course. Il suffit, pour obtenir ce résultat, que les frotteurs soient un peu plus longs que l'intervalle qui sépare deux groupes de contact consécutifs.

Les appareils constituant le distributeur sont doublement protégés ; d'abord par une cloche en fonte qui repose sur un fond en fonte avec bords en augets remplis d'huile, ensuite par une boîte en fonte munie d'un couvercle qui, lorsqu'il est placé sur chaussée, reçoit une garniture de pavés de bois (fig. 82).

Une des qualités de l'appareil c'est que l'on peut retirer

[1] A Washington le fonctionnement de l'appareil est un peu différent. Le courant de la batterie d'accumulateurs se ferme par les boutons B_1 et B_2. Mais le principe est le même.

à peu près instantanément l'électro-aimant et le changer s'il est nécessaire. Les connexions se rétablissent d'elles-mêmes quand on met l'électro-aimant en place.

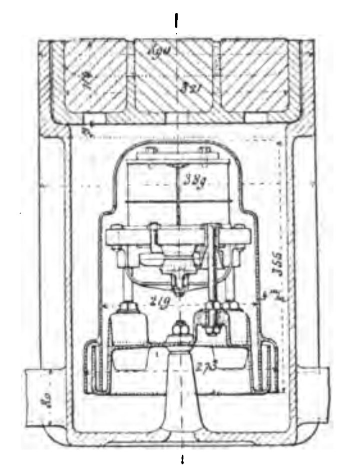


Fig. 83. — Coupe longitudinale d'un distributeur.

La figure 83 donne la coupe longitudinale d'un distributeur. Le câble de charge (câble armé) passe par des ouvertures pratiquées à la partie inférieure.

Entre les distributeurs et les boutons de contact le courant circule dans des conducteurs isolés, protégés par un tuyau en fonte.

Les boutons sont en acier quadrillé ; ils ont une hauteur de 1 cm et un diamètre de 10 à 12 cm. Comme on peut être amené à les changer assez fréquemment ils sont simplement vissés dans une sorte de boulon en fer relié au distributeur. L'ensemble est emprisonné dans un bloc isolant (terre cuite, granit, etc...), encastré dans un moule en fonte (fig. 84).

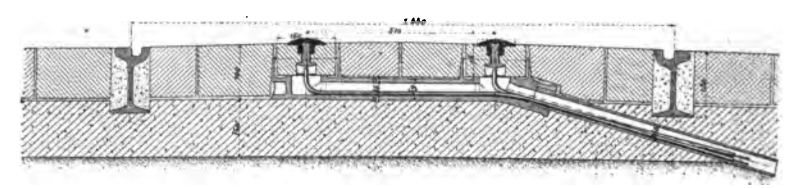


Fig. 84. — Boutons de contact.

Les boutons et leurs accessoires se posent directement sur béton et, dans ce cas, ils sont maintenus par les pavés environnants. On peut aussi les relier aux entretoises.

Les *croisements* et les *aiguillages* se font sans difficulté, puisque chaque groupe de boutons de contact est indépendant et a son distributeur spécial. Dans les *courbes* on rapproche les boutons de contact où on augmente légèrement leurs dimensions transversales.

Avec les dispositions précédemment indiquées le retour du courant se fait par les rails. Si l'on voulait avoir un conducteur spécial pour ramener le courant à l'usine il suffirait d'ajouter un troisième bouton et un troisième frotteur et de modifier légèrement le distributeur.

On peut reprocher au système de la Westinghouse Company de comporter un nombre trop considérable de distributeurs. C'est évidemment un inconvénient. En revanche, chaque voiture est beaucoup plus indépendante que dans le système Claret et Wuilleumier. En effet, dans ce système, deux voitures ne doivent jamais s'engager sur une même section de distributeurs, et quand un distributeur s'arrête la voiture qu'il alimente doit également s'arrêter jusqu'à ce qu'on ait remis l'appareil en mouvement. Au contraire, avec les dispositions de la Westinghouse Company les voitures peuvent se rapprocher jusqu'à se toucher et, si un contact est défectueux, elles arrivent facilement à le franchir en profitant de la vitesse acquise.

Système Diatto. — Ce système est excessivement simple.

La voiture porte à sa partie inférieure (fig. 85) une bande de fer A qu'aimantent des électro-aimants M excités en dérivation sur le circuit des moteurs. Cette bande peut venir frotter sur des contacts en fer doux C placés à fleur de sol,

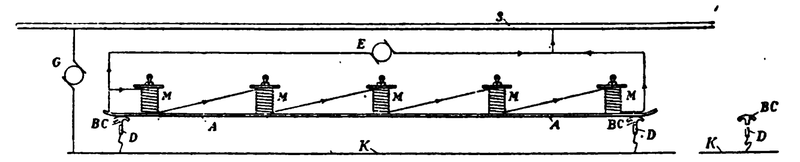


Fig. 85. — Système Diatto. — Disposition schématique.

dans l'axe de la voie et à une distance l'un de l'autre un peu inférieure à la longueur du frotteur.

En frottant sur le contact C, la bande A l'aimante et lui permet d'attirer une tige en fer doux D (fig. 86) qui peut se déplacer verticalement et dont les mouvements sont facilités par ce fait qu'elle plonge à sa partie inférieure dans un bain de mercure.

Or ce mercure est contenu dans une coupe métallique qui est constamment reliée au câble de distribution K. Donc le courant passera, par la tige D, dans le plot C et de là, par la bande A, dans la voiture.

Dès que, par suite du mouvement du tramway, le frotteur A a abandonné le plot C, la tige D qui ne se trouve plus attirée retombe, par l'effet de son poids, et isole le contact C. Pour éviter que le magnétisme résiduel ne maintienne l'adhérence entre C et D on recouvre les parties en contact d'une substance non magnétique, mais cependant conductrice (cuivre rouge).

La coupe à mercure, qui est constamment en charge, doit être parfaitement isolée. Elle est supportée à cet effet par des pièces de bois R imprégné de paraffine ou d'une matière analogue. L'isolement du contact C est obtenu à l'aide d'une garniture en bois H, préparée de la même façon.

Les différents appareils constituant le distributeur sont

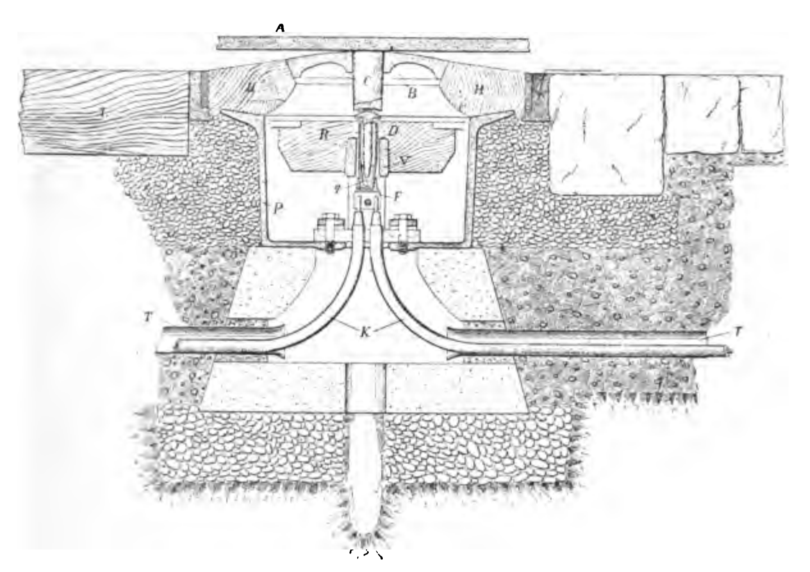


Fig. 86. — Système Diatto. — Coupe d'une boite de contact.

logés dans une boîte en fonte P, présentant une ouverture inférieure pour le passage des câbles de charge. Le couvercle est formé par un tampon en fonte B fixé par des vis en bronze à une traverse intérieure. Il peut être enlevé très rapidement, ce qui permet de visiter facilement les différents organes.

Dans un nouveau type de boîte de contact (fig. 87), au

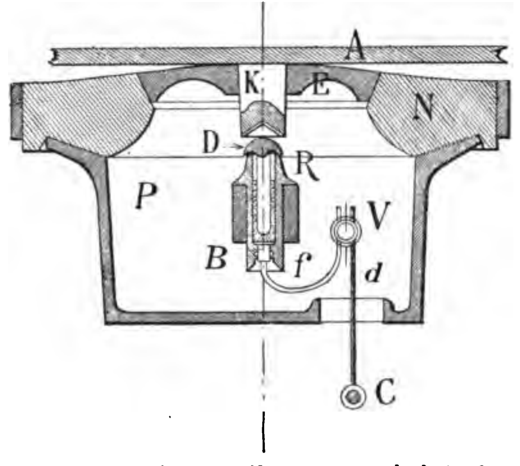


Fig. 87. — Système Diatto. — Nouveau type de boîte de contact.

lieu d'une coupe métallique isolée, on emploie une coupe en porcelaine dont la figure 88 donne le détail. Cette coupe est fermée, à sa partie inférieure, par un bouchon métallique B, qui est relié par un fil de cuivre *f* et le branchement *d* au câble de distribution C. Le fil *f* a une section suffisamment réduite pour qu'il puisse fonctionner, en cas de courant excessif, comme coupe-circuit.

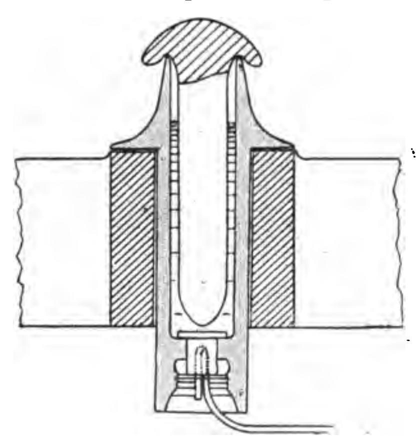


Fig. 88. — Coupe à mercure.

Le frotteur A est suspendu aux voitures comme l'indique la figure 89. Il peut se déplacer verticalement et latéralement de manière à se trouver toujours en contact avec le distributeur. Son poids (électro-aimant compris) est de

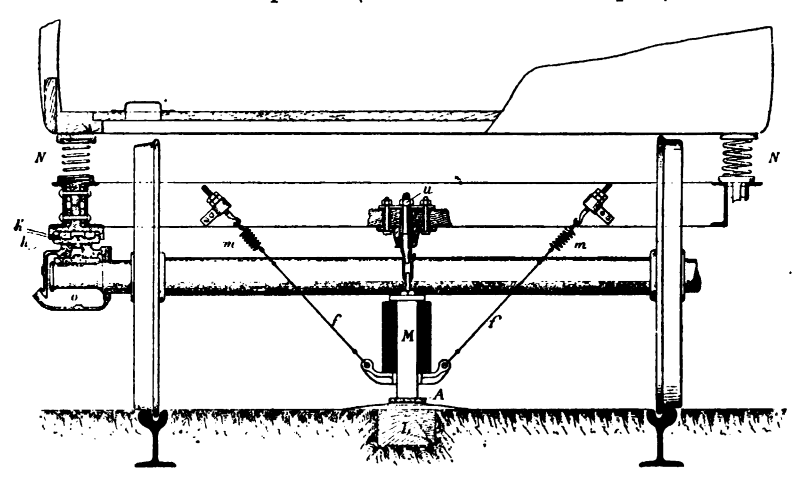


Fig. 89. — Système Diatto. — Suspension de la barre de contact.

200 kg. Enfin, pour maintenir l'aimantation, il faut dépenser 250 watts.

Cet examen confirme pleinement l'opinion que nous avons émise, en commençant, sur la simplicité relative du système.

On peut objecter que la tige en fer doux pourra accidentellement rester collée contre le plot de contact après le passage de la voiture. Mais cela sera probablement peu à craindre, si l'on a le soin de visiter de temps en temps la garniture non magnétique. D'ailleurs on peut imaginer bien des combinaisons soit pour rompre automatiquement le cou-

rant dans le distributeur, dès que la tige ne fonctionne plus, soit pour avertir le conducteur de la voiture, à l'aide d'une sonnerie, quand ce fait se produit.

Rien n'empêcherait également, pour le cas où l'on craindrait une désaimantation momentanée de la barre de contact par suite du non-fonctionnement de l'un des distributeurs, d'installer sur la voiture, comme dans le système de la Westinghouse Company, une petite batterie d'accumulateurs.

Le système Diatto se prêterait parfaitement au retour du courant par un conducteur spécial. Il suffirait d'avoir une seconde rangée de plots de contact communiquant avec le conducteur et un second frotteur. Mais c'est une complication dont on pourra généralement s'affranchir avec une voie judicieusement établie. Autant que faire, et surtout sur les lignes à double voie, mieux vaudrait adopter une distribution à trois fils, d'autant plus qu'un tel mode de distribution conviendrait remarquablement bien au système considéré.

Le système Diatto va être appliqué prochainement à Tours et Saint-Nazaire. Il sera intéressant d'avoir des données précises sur la façon dont les boîtes de contact supporteront la circulation ainsi que sur le fonctionnement des distributeurs.

CHAPITRE VI

TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

Considérations générales sur l'emploi des accumulateurs pour la traction. — Principe des accumulateurs. — Conditions de fonctionnement et d'emploi des accumulateurs. — Entretien et rendement. — Récupération de l'énergie. — Tramways à accumulateurs à charge ordinaire. — Tramways à accumulateurs à charge rapide. — Tramways à accumulateurs et à trolley.

Considérations générales sur l'emploi des accumulateurs pour la traction. — L'emploi des accumulateurs, pour la traction des tramways est assez séduisant au premier abord. Chaque voiture portant avec elle sa provision d'électricité, il n'y a pas besoin, en effet, de conducteurs aériens ou souterrains pour distribuer le courant le long de la ligne. Un arrêt instantané de l'usine, une rupture accidentelle des conducteurs d'alimentation ne sont pas non plus à redouter et l'exploitation peut être assurée avec une sécurité absolue.

On conçoit même qu'une voiture, arrêtée par un encombrement subit de la voie, puisse, avec ses propres moyens, dérailler et contourner l'obstacle.

Enfin, la traction par accumulateurs peut être appliquée sur des voies quelconques, si elles sont suffisamment résistantes, sans que l'on ait besoin de les modifier.

Mais les accumulateurs, malgré les grands perfectionnements qu'on leur a fait subir, présentent encore quelques inconvénients caractéristiques. Les principaux sont leur poids, leur faible rendement, le prix de leur entretien et, sauf pour quelques types nouveaux, leur défaut d'élasticité.

Ainsi s'explique le nombre relativement fort restreint des lignes de tramways qui ont été équipées par ce système.

Cependant, de nouvelles et intéressantes applications viennent d'être faites en France et en Allemagne. Aux Etats-Unis, même, où les accumulateurs étaient jusqu'ici systématiquement écartés, on vient de les mettre à l'essai sur une importante ligne de tramways[1].

Pour bien faire comprendre les avantages et les inconvénients des accumulateurs, il est indispensable de rappeler sommairement comment ils sont constitués et comment ils fonctionnent.

Principe des accumulateurs. — Prenons un bac rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique et dans laquelle plongent deux plaques de plomb. Si nous faisons passer un courant électrique de l'une à l'autre plaque (électrodes), l'eau sera décomposée en ses éléments, oxygène et hydrogène. L'oxygène se portera sur l'*anode* (plaque par laquelle le courant arrive) pour former une substance brune qui est du peroxyde de plomb, tandis que l'hydrogène ira à la *cathode* (plaque par laquelle le courant sort).

[1] Il s'agit de la ligne de Madison Avenue, à New-York (voir l'*Electricien* du 20 mai 1896).

Si on arrête l'opération, on constate qu'il existe entre les deux plaques une différence de potentiel et que d'autre part en les réunissant pas un fil conducteur, un courant élec trique s'établit de l'anode à la cathode et se maintient pendant un certain temps. On a donc, en quelque sorte, par la première opération, *accumulé* dans l'appareil une certaine quantité d'électricité. L'accumulateur, fonctionnant à la décharge comme un générateur d'électricité, la plaque anode (qui correspond au pôle positif d'une dynamo) s'appelle *plaque positive*, l'autre *plaque négative*.

Quand on charge et décharge un accumulateur un certain nombre de fois, la quantité d'électricité qu'il peut débiter, c'est-à-dire sa capacité, augmente notablement. Aussi, avant d'employer des accumulateurs en service courant, commence-t-on par les *former*.

On désigne cette préparation préliminaire sous le nom de *formation Planté*.

Pour l'abréger on peut opérer non sur des plaques de plomb, mais sur des plaques de plomb recouvertes d'oxyde de plomb (procédé Faure). Après une seule charge l'appareil est prêt à servir industriellement.

Mais il faut prendre des précautions pour que la matière active, ainsi déposée sur les plaques, ne se décolle pas. A cet effet on a adopté des plaques quadrillées, grillagées, dentelées, etc... En outre, pour avoir des carcasses résistantes, certains constructeurs remplacent le plomb par du plomb antimonieux.

L'*accumulateur Tudor* est un accumulateur Faure à pla-

ques épaisses en plomb. Au bout de quelques mois de service, cet accumulateur fonctionne également comme un accumulateur Planté. Depuis peu, la Société Tudor fabrique des accumulateurs dits *à charge rapide*, et dont les plaques positives sont même uniquement constituées par des plaques Planté. Ces plaques sont dentelées de chaque côté, pour augmenter la surface en contact avec l'eau acidulée.

L'accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux comporte une carcasse en plomb antimonieux. La plaque positive est à augets et à matière active ordinaire. La plaque négative, que l'on a cherché à rendre très spongieuse est du système Laurent-Cély. La matière active est dans ce cas un mélange de chlorure de plomb et de chlorure de zinc que l'on réduit par le zinc en plomb spongieux.

Les accumulateurs à base de plomb, analogues à ceux que nous venons de décrire, sont seuls employés couramment, du moins jusqu'à présent, pour la traction électrique.

Conditions de fonctionnement et d'emploi des accumulateurs. — Un accumulateur, chargé à refus, présente une *force électro-motrice* de 2,6 volts. Mais il ne peut la conserver que très peu de temps et, à la décharge, celle-ci tombe rapidement à environ 2 volts. Il se produit ensuite une décroissance lente que l'on arrête à 1,85 volt, afin d'éviter la sulfatation des plaques.

La *capacité* dépend du poids des plaques constitutives et de la rapidité avec laquelle se font la charge et la décharge. Elle s'évalue en *ampères-heure*.

On peut monter les accumulateurs en série ou en quantité, comme les piles. Ainsi une batterie de 10 bacs, de 50 ampères-heure chaque, donnera dans le premier cas 50 ampères-heure à 20 volts (régime moyen) et, dans le second, 500 ampères-heure à 2 volts.

Pour calculer le nombre de bacs (ou d'éléments) que l'on doit charger sur une voiture, pour obtenir une tension déterminée, il faut partir de la force électromotrice minima à demander à chaque bac, soit 1,85 volts. Par conséquent, avec des moteurs à 500 volts, comme ceux qui sont employés sur les lignes à trolley, on devrait emporter un nombre de bacs égal à $\frac{500}{1,85} = 270$.

La manutention d'un nombre pareil de bacs serait fort compliquée. Aussi préfère-t-on employer une tension moindre, sauf à prendre des éléments un peu forts. Il convient, d'ailleurs, de remarquer que la tension de 500 volts, qui est motivée dans le cas du trolley (ou de l'archet) par la nécessité où l'on est de ne pas dépasser, pour les conducteurs aériens, un diamètre de 7 à 8 mm et de restreindre les pertes de charge en ligne, ne s'impose plus avec les accumulateurs, puisque la source d'électricité est alors dans le voisinage immédiat des moteurs. En général, on se limite à une tension de 100 à 200 volts, ce qui correspond à un nombre d'éléments variant de 55 à 110.

Le poids et par suite les dimensions des éléments dépendent du travail que l'on a à effectuer entre deux chargements consécutifs de la batterie. Mais encore faut-il s'abstenir de faire travailler les accumulateurs à un régime

excessif, dans l'intérêt de leur conservation et pour ne pas tomber sur des rendements trop bas.

On recommande de ne pas dépasser, comme service moyen, un débit de 2 ampères par kg de plaques; mais, sous peine d'avoir des batteries excessivement pesantes, on est obligé, surtout pendant les démarrages, d'aborder des débits beaucoup plus élevés (5 et 6 ampères par kg de plaques). Les accumulateurs actuels supportent assez bien des variations de cette étendue, mais naturellement leur rendement s'en ressent.

Les catalogues des fabricants donnent, pour un régime déterminé, les poids des éléments correspondant à une capacité donnée. Ainsi nous relevons sur l'un d'eux que pour avoir une capacité de 100 ampères-heure à débiter en 5 heures (soit 20 ampères par heure), il faudra prendre des éléments de 13 kg. Le même élément, déchargé en 1 heure et demie, n'aurait plus qu'une capacité de 60 ampères-heure.

Quand le voltage des éléments est tombé à 1,85 volt, il faut recharger la batterie. Cette opération doit être faite également avec une certaine lenteur. Ainsi l'élément de 13 kg, considéré plus haut, ne doit pas être chargé autant que possible en moins de quatre à cinq heures (environ 2 ampères par kg de plaque).

Les nouveaux accumulateurs de la Société Tudor peuvent être chargés beaucoup plus vite. Mais il convient de remarquer qu'entre deux charges consécutives on ne met en jeu qu'une faible partie de la capacité. C'est ainsi que le type de 13 kg ne débite que 20 ampères-heure. Ce débit

peut être restitué, au besoin, en 10 minutes, au régime de charge de 10 ampères par kg de plaque.

Entretien et rendement. — Les accumulateurs nécessitent un entretien assez dispendieux dû à ce qu'ils supportent assez mal les « coups de collier » qu'ils doivent donner au moment du démarrage. Si l'on veut démarrer vite, en effet (et c'est là un des avantages primordiaux des moteurs électriques), il faut faire débiter aux éléments un courant exagéré.

Les trépidations des voitures ont aussi une influence fâcheuse sur la conservation de la matière active. Celle-ci tombe peu à peu en bouillie au fond des bacs, dégarnissant ainsi l'élément qui se trouve affaibli. Cependant, on constate que c'est surtout la plaque positive qui est soumise à cette sorte de désagrégation. Et ceci explique pourquoi la *Société pour le travail électrique des métaux* a été amenée à adopter pour ses plaques positives, une ossature à auget qui retient le peroxyde. D'après une communication faite par M. Sarcia à la Société Internationale des électriciens[1], des plaques ainsi combinées pourraient faire un service de 14,000 km. Et même après ce parcours l'ossature est intacte et il suffit d'un réempâtage pour lui restituer ses qualités primitives.

C'est également dans le but d'avoir des plaques positives particulièrement robustes que la Société Tudor les prépare avec du plomb dentelé, sans addition de matière active.

On ne doit pas, même dans d'excellentes conditions,

[1] Séance du 3 avril 1895.

compter sur un rendement en watts supérieur à 70 p. 100[1]. Le rendement en ampères, qu'il est utile de connaître pour la charge, est de 85 à 90 p. 100.

Récupération de l'énergie. — Quand la voiture descend une pente, on peut faire travailler le moteur comme une dynamo génératrice et envoyer le courant ainsi produit dans les accumulateurs. On *récupère*, de cette façon, une partie de l'énergie consommée aux montées.

Soit P le poids de la voiture en tonnes, n le nombre de centimètres par mètre de la pente, l la longueur de cette pente supposée continue. Le travail disponible est, en adoptant les coefficients établis au chapitre II :

$$T = Pl\,(10 \times n - 13)$$

Mais, d'après M. Pellissier, par suite des arrêts, des ralentissements, etc., on ne peut compter que sur les 0,85 de ce travail. D'autre part, il faut tenir compte :

1° Du rendement des moteurs travaillant comme dynamos génératrices (75 p. 100);

2° Du rendement des accumulateurs (70 p. 100);

3° Du rendement des moteurs quand ils utiliseront le courant ainsi emmagasiné.

Le travail disponible ne sera donc en réalité que :

$$T \times 0{,}85 \times 0{,}75 \times 0{,}70 \times 0{,}75 = T \times 0{,}33$$

L'avantage est encore appréciable et pourrait atténuer un

[1] Il s'agit du rapport des watts-heure de décharge aux watts-heure de charge.

peu l'infériorité de rendement des lignes à accumulateurs, relativement aux lignes à trolley[1]. Cependant, il résulte de la pratique établie sur les lignes existantes que la récupération a été en réalité peu employée jusqu'ici.

Nous inclinons par suite à croire que le coefficient de 0,85 admis plus haut est probablement un peu élevé. On doit remarquer d'ailleurs que, dans les pentes, la récupération n'est possible qu'autant que T est positif, c'est-à-dire qu'autant que la pente par mètre est supérieure à 1,3 cm.

Pour que la récupération puisse se faire d'une façon pratique, il faut que les moteurs soient excités en dérivation (voir ch. VII). Or, pour la traction des tramways, les moteurs en série sont préférables. C'est là encore une des raisons qui contribuent à restreindre l'emploi de la méthode. On se rend d'ailleurs bien compte, d'après ce que nous avons dit plus haut, que celle-ci ne pourrait rendre de réels services que sur des lignes à profil suffisamment accidenté.

Tramways à accumulateurs à charge ordinaire. — Nous prendrons comme type les lignes de la *Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine*, équipées avec les accumulateurs de la *Société pour le travail électrique des métaux*.

[1] Partant de ce résultat un peu théorique, M. Pellissier a calculé que sur des pentes atteignant 2, 3, 4 et 5 cm par mètre, le travail dépensé par un tramway, pour effectuer le trajet dans les deux sens, est le même pour un tramway à trolley que pour un tramway à accumulateurs dont la batterie pèserait 0,9 t, 1,65 t, 2,15 t ou 2,53 t.

Ce calcul deviendrait toutefois inexact si, à la descente (ce qui n'est pas impossible), on faisait travailler également le tramway à trolley sur le réseau.

Nous avons indiqué plus haut comment étaient constitués ces accumulateurs. Les lignes où ils sont employés sont :

Madeleine-Saint-Denis . . .	longueur.	9,186 km.
Opéra-Saint-Denis	— .	9,195 —
Neuilly-Saint-Denis.	— .	4,400 —

Les voitures sont à impériale et contiennent 52 places.

Deux modèles de voiture sont en service.

Premier type de voiture (fig. 90). — La batterie est logée sous les banquettes. Elle comprend 108 accumulateurs à 11 plaques. Ces plaques ont les dimensions ci-après :

Hauteur.		200 mm.
Largeur		200 —
Épaisseur.	Plaques négatives	6 —
	Plaques positives	8 —

Le poids des plaques d'un élément est de 18 kg environ. La manœuvre des accumulateurs se fait par groupes de 9 éléments contenus dans une même caisse en bois. Il y a donc 12 caisses par voiture, soit 6 de chaque côté. Leur chargement et leur déchargement s'opèrent par les côtés, à l'aide de wagonnets que l'on roule le long de la voiture ou en disposant les bancs de charge parallèlement à la voie, comme le montre la figure 91.

Les connexions s'établissent d'elles-mêmes, par des lames de laiton sur lesquelles glissent d'autres lames convenablement reliées aux plaques.

La batterie a une capacité de 175 ampères-heure, au débit moyen de 35 ampères, soit environ 2 ampères par kg de plaque. Mais ce débit moyen est très souvent dépassé et

peut atteindre dans les rampes ou aux démarrages de 80 à 100 ampères, ce qui correspond à 4 et 5 ampères par kg de



Fig. 90. — Voiture à accumulateurs de la compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine (ancien type).

plaque. Une seule batterie suffit pour effectuer 50 km sur rails Broca. La voiture pèse 14 500 kg, comprenant :

Voiture proprement dite	8 000 kg.
Batterie et accessoires	3 000 —
Voyageurs.	3 500 —
Total	14 500 kg.

Après deux voyages aller et retour la batterie doit être rechargée[1]. A cet effet la voiture rentre au dépôt et échange

[1] Du moins sur les deux lignes les plus longues.

la batterie épuisée pour une batterie neuve. Il faut donc 2 batteries par voiture.

La charge se fait en 4 heures, avec un courant initial à



Fig. 91. — Chargement des accumulateurs sur la voiture.

260 volts, tous les éléments étant montés en série. Après 2 heures de charge on élève la tension, avec un survolteur, jusqu'à 280 volts.

Le nombre d'ampères-heure à fournir dépend du service fait par la batterie. On prend le nombre d'ampères-heure dépensé augmenté de 15 p. 100, ce qui correspond à un rendement en quantité de 85 p. 100. Le rendement en watts n'est que de 70 p. 100.

Deuxième type de voiture. — La voiture est à impériale et à 50 places comme précédemment. Mais la batterie est logée dans une caisse unique, suspendue entre les deux essieux (fig. 92). Avec ce système il n'y a plus à craindre de projections d'acide dans les voitures et les manutentions se

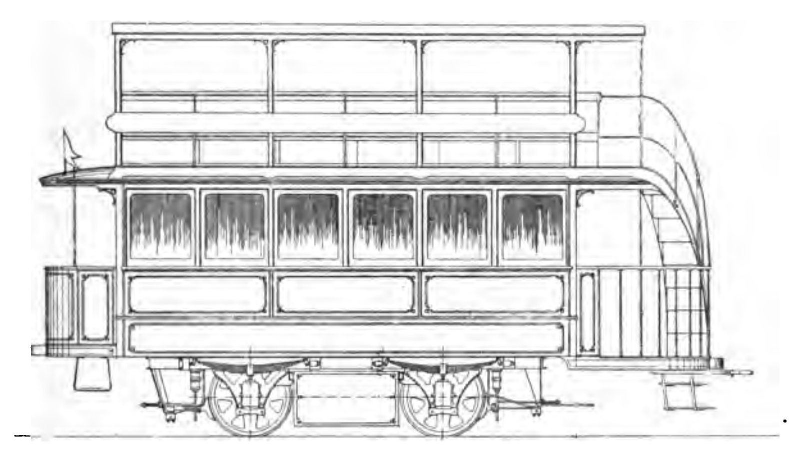


Fig. 92. — Voiture à accumulateurs de la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine. (Nouveau type.)

trouvent notablement facilitées. On peut, en effet, à l'aide d'un chariot bas, enlever et placer toute la batterie d'un seul coup.

Mais, comme l'espace disponible sous la voiture est assez restreint, on a été amené à alléger la batterie. Celle-ci ne comprend plus que 56 éléments (au lieu de 108). Aussi doit-elle être changée après un voyage aller et retour seulement.

Cet inconvénient est compensé, et largement, par les avantages suivants :

1° On n'a plus besoin, par voiture, que de deux batteries de 56 éléments, ce qui se traduit par une économie notable de premier établissement;

2° Le poids des accumulateurs à emporter par chaque voiture est de 1 700 kg au lieu de 3 000 kg.;

3° Les manutentions des batteries, quoique étant plus nombreuses, représentent cependant une dépense moindre, attendu que pour changer une batterie deux hommes pendant 2 minutes suffisent, alors qu'avec les voitures du premier type 6 hommes pendant 6 minutes sont nécessaires.

Le poids d'une voiture en charge est de 11700 kg comprenant :

Voiture proprement dite	6 500 kg.
Batterie	1 700 —
Voyageurs.	3 500 —
Total.	11 700 kg.

Des essais très intéressants ont été faits avec les nouvelles voitures, pour la récupération du courant. Ils ont porté sur les rampes de la rue de Rome et de l'avenue de Saint-Ouen. Les chiffres suivants ont été obtenus :

AVENUE DE SAINT-OUEN

Dépense en rampe.	976,5	watts-heure.
Récupération en pente.	385,0	—

RUE DE ROME

Dépense en rampe.	625,8	watts-heure.
Récupération en pente	216,0	—

Ces résultats très appréciables sont mis en évidence par la figure 93, dans laquelle les courbes supérieures donnent la consommation relevée au watt-mètre pendant les rampes.

La partie hachurée correspond aux watts récupérés. La rapport des watts-heure gagnés aux watts-heure dépensés est de 39 p. 100 dans le premier cas et de 34 p. 100 dans le second.

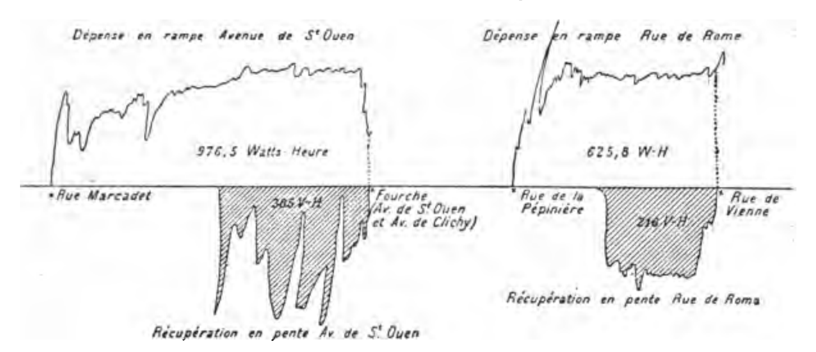


Fig. 93. — Récupération de l'énergie.

Mais, comme la batterie d'accumulateurs ne les rend qu'avec une perte de 30 p. 100, on ne retrouve finalement que 27,3 p. 100 et 21,8 p. 100 de l'énergie dépensée.

Le deuxième type de voiture que nous venons d'examiner est destiné à être prochainement substitué à l'ancien type sur les trois lignes indiquées.

Tramways à accumulateurs à charge rapide. — Nous trouvons une très intéressante application de ce système sur les lignes ci-après de la compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine :

Madeleine-Courbevoie (pont de Neuilly), longueur.	6,736	km.
Madeleine-Bineau-Courbevoie. . . . . . — .	6,590	—
Madeleine-Levallois . . . . — .	4,720	—
Neuilly-Avenue du Roule. . . . . — .	5,723	—

[1] La Compagnie a traité, à cet effet, avec la Compagnie générale de traction et d'électricité.

Le point caractéristique de ces installations, c'est que la batterie reste à demeure sur la voiture. On la charge aux terminus (sans aller au dépôt) en la reliant à des feeders souterrains qu'alimente une station centrale située à Puteaux, quai National, 45.

La charge s'effectue, après chaque voyage d'aller et retour, en 15 minutes.

Les voitures sont à impériale couverte et possèdent 52 places. Les accumulateurs se logent sous les banquettes, dans de longues caisses en bois que l'on tire par les extrémités. On peut les visiter en ouvrant les banquettes ; mais il suffit de procéder à cette opération tous les 2 ou 3 jours, pendant la première charge du matin.

Les accumulateurs sont du système Tudor, dit à charge rapide. Chaque batterie comporte 200 éléments à 5 plaques (2 positives et 3 négatives) ayant les dimensions ci-après :

Hauteur		210	mm.
Largeur		200	—
Épaisseur.	Plaques positives	13	—
	Plaque négative centrale	7	—
	Plaques négatives extrêmes	5	—

Le poids des plaques d'un élément est de 15 kg. La batterie entière, avec ses accessoires, pèse 3,600 kg.

La capacité moyenne garantie est de 32,5 ampères-heure pour un voyage d'aller et retour, avec limitation de la vitesse à 16 km par heure hors Paris et à 12 km dans Paris. On voit que cette capacité est faible quand on la rapporte au poids de la batterie, ou autrement dit, qu'on n'utilise qu'une

partie de la capacité véritable. C'est pour cela, d'ailleurs, que l'on est obligé d'employer une batterie excessivement pesante.

Pour la charge, les accumulateurs sont simplement mis en série sur un circuit à 540 volts (alimenté directement par la station centrale de Puteaux)[1]. L'intensité du courant est de 120 ampères. Cette charge, qui correspond à un régime d'un peu plus de 8 ampères par kg de plaque, se fait, comme nous l'avons dit plus haut, en un quart d'heure seulement. Mais, à ce sujet, nous ferons remarquer que cette rapidité de charge, qui surprend au premier abord, s'explique assez, quand on considère que la capacité de la batterie est loin d'être épuisée. On sait, d'ailleurs, que lorsque l'on charge une batterie, à potentiel constant, c'est surtout dans les premiers moments de la charge que cette batterie absorbe la plus grande partie de l'électricité qu'elle est susceptible d'emmagasiner.

Le matériel roulant en service sur les quatre lignes précédemment indiquées comprend 35 voitures, pesant chacune, voyageurs compris, 14 tonnes.

On ne connaît pas encore exactement le rendement des batteries.

Tramways à accumulateurs et à trolley. — Comme nous le verrons plus loin (ch. IX, *Dépenses*), la traction avec accumulateurs revient plus cher que la traction avec conducteurs aériens et trolley.

[1] Cette usine, qui a été construite par la Société industrielle de moteurs électriques et à vapeur, a une puissance de 600 chevaux. Le courant est produit à la tension de 600 volts. On perd 60 volts dans les feeders.

Par conséquent si, sur une ligne donnée, la traction par accumulateurs ne s'impose que pour une partie seulement (quartiers riches, places monumentales, etc...), on pourra avoir économie à adopter un système mixte, en adoptant à la fois les accumulateurs et le trolley. Avec des accumulateurs à charge rapide, ces deux systèmes s'allieront d'ailleurs parfaitement, attendu que l'on pourra charger la batterie avec le courant même de la ligne à trolley dans les parties en pente ou pendant les arrêts [1].

Une telle disposition eût été avantageusement appliquée aux quatre lignes que nous venons d'examiner. Ces lignes ont en effet leur parcours à la fois dans Paris et dans la banlieue. En adoptant le trolley extérieurement aux fortifications, on eût pu réduire le poids de la batterie et l'on eût bénéficié, sur une grande partie du trajet, de l'économie inhérente à ce dernier mode de traction.

Ce système vient d'être appliqué à deux lignes de tramways de Dresde et de Hanovre (longueurs respectives 4 et 7 km). Les accumulateurs, qui sont du système Tudor à charge rapide, ont été fabriqués par l'usine de Hagen. Les éléments, au nombre de 200 par voiture, peuvent débiter 25 ampères-heure. Ils sont logés sous les banquettes, dans des caisses doublées de caoutchouc. On a disposé, en plus, une lame de caoutchouc au-dessus de chaque élément. De

[1] On remarquera que des accumulateurs ordinaires pourraient aussi très bien convenir. Cela dépend du régime auquel on veut soumettre la batterie. Il est d'ailleurs bien évident que l'on aura intérêt à adopter des batteries aussi légères que possible, ce qui, avec un profil convenable, pourrait même conduire à l'emploi de ces accumulateurs, de préférence aux accumulateurs dits à charge rapide.

cette façon on évite à peu près complètement les projections d'acide.

Deux tuyaux débouchant sur le toit de la voiture, à l'avant et à l'arrière, assurent la ventilation des caisses.

La charge se fait dans les parties à trolley, sans précautions spéciales. Etant donné le profil des lignes on charge en beaucoup plus de temps que les accumulateurs ne le nécessiteraient strictement. Ceux-ci pourraient être en effet chargés en dix minutes à un quart d'heure.

CHAPITRE VII

MATÉRIEL ROULANT

Voitures. — Moteurs. — Fonctionnement des moteurs : (*a*) Moteur à courant continu, excité en série ; (*b*) Moteur à courant continu, excité en dérivation ; (*c*) Moteurs à courants polyphasés. — Contrôleur. — Appareils divers. — Freins. — Éclairage et chauffage des voitures. — Fenders. — Remisages. — Voitures pour l'enlèvement des neiges. — Voitures diverses.

Voitures. — Dans une voiture nous distinguerons le *truck* et la *caisse*. Maintenant on fait toujours ces deux parties absolument indépendantes, de telle façon que dans les dépôts, on puisse, en enlevant la caisse, visiter facilement les moteurs et les connexions.

Le truck est constitué par un bâti rectangulaire en acier. Son empattement (distance des essieux), qui ne dépasse pas ordinairement 1,8 m, permet de passer aisément, avec des essieux rigides, dans des courbes de 16 à 18 m de rayon. Au-dessous on emploierait utilement des essieux convergents.

Avec le matériel en usage sur les lignes de tramways, les trucks à bogie ne sont pas généralement nécessaires[1].

[1] Nous citerons cependant le truck à bogie, système Eickmayer, qui est utilisé sur certaines lignes américaines (en particulier sur les tramways de Brooklyn (Boston).

La suspension de la voiture se fait par des ressorts. En Amérique, on emploie surtout des ressorts à boudin. Chez nous, au contraire, nous nous servons plus volontiers de

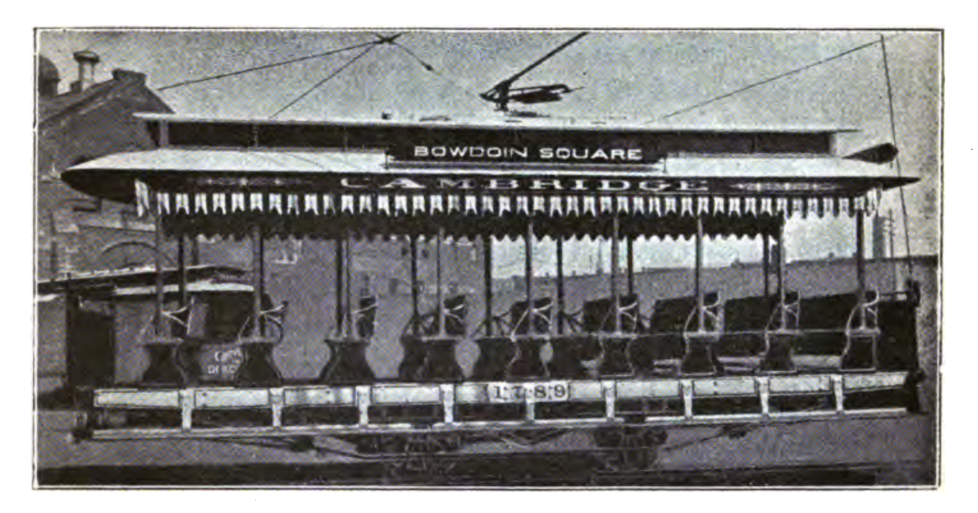


Fig. 94. — Type de voiture découverte en usage aux États-Unis.

ressorts plats, analogues à ceux des wagons de chemins de fer.

Le truck repose également par des ressorts sur les boîtes à graisse. On dispose ainsi d'une double suspension qui donne au roulement beaucoup de douceur[1].

Les voitures sont ou fermées ou découvertes, suivant les saisons. La tendance actuelle est d'abandonner les voitures à impériale, si peu confortables en hiver et qui font perdre

[1] Nous renvoyons pour ces détails, qui ne concernent pas spécialement les tramways électriques, aux traités spéciaux.

pour la montée et la descente des voyageurs un temps précieux.

Pour diminuer les dépenses de première installation que nécessite ce double matériel, certaines compagnies ont combiné des voitures mixtes à parois mobiles (Portland).

D'autres utilisent les mêmes trucks et changent simplement la caisse de la voiture.

Enfin on peut s'arranger également de façon à faire servir les moteurs des voitures fermées pour l'équipement des voitures découvertes. Ainsi la *West End Street Railway Company* de Boston, qui emploie pendant la mauvaise saison des voitures fermées à deux moteurs de 25 chevaux, se contente, quand elle met en circulation une voiture découverte, d'enlever l'un des moteurs d'une voiture fermée et de l'installer sur le truck de la voiture à mettre en service. On ne dispose dans ce cas que de 25 chevaux par voiture. Mais les voitures sont plus légères et, en été, le roulement se fait dans de bien meilleures conditions. La voiture fermée, réduite à son moteur de 25 chevaux, sert de réserve pour les jours de grande affluence.

Moteurs. — Il est nécessaire que les moteurs soient peu volumineux, pour que l'on puisse les loger aisément sous la caisse des voitures. En outre, leurs différents organes doivent être mis soigneusement à l'abri de la boue et de la poussière.

On a combiné à cet effet des moteurs dits *Waterproof*, qui sont complètement renfermés dans une enveloppe en fonte

ou en acier coulé ; mais celle-ci peut s'ouvrir facilement, en sorte que l'on peut visiter rapidement les différents organes en mouvement et, en particulier, le collecteur.

Un moteur se compose essentiellement d'un induit tournant entre des électro-aimants excités par un système inducteur.

C'est en somme la disposition d'une dynamo, sauf que c'est le courant qui fait tourner l'induit, alors qu'avec une dynamo on fait tourner l'induit pour obtenir du courant.

Avec les moteurs de force moyenne, comme ceux qui sont en usage pour la traction des tramways, l'induit tourne très vite (800 à 1000 tours par minute). C'est là un inconvénient, car, pour passer de la vitesse de rotation des moteurs à celle des essieux, on est obligé d'employer plusieurs engrenages réducteurs. Mais on peut obtenir une vitesse moindre, en combinant des moteurs à plusieurs inducteurs, c'est-à-dire à plusieurs pôles. Le plus souvent les moteurs sont *tétrapolaires* (à 4 pôles). Dans ces conditions, la vitesse se trouve diminuée de moitié (400 à 500 tours) et un seul engrenage suffit. Comme cet engrenage produirait en tournant un bruit de ferraille désagréable, on le loge dans une caisse remplie d'huile.

On peut, pour cette transmission de mouvement, remplacer les engrenages par des bielles ou par des chaînes de transmission. Mais les engrenages sont d'un emploi beaucoup plus répandu.

En vue de diminuer les inconvénients inévitables d'une transmission par engrenages M. Short a construit un moteur

à vitesse lente, qui se monte directement sur les essieux. Mais le rendement de ce moteur est moins bon que celui des moteurs ordinaires à 4 pôles.

Les figures 95 et 95 *bis* montrent un moteur excessivement

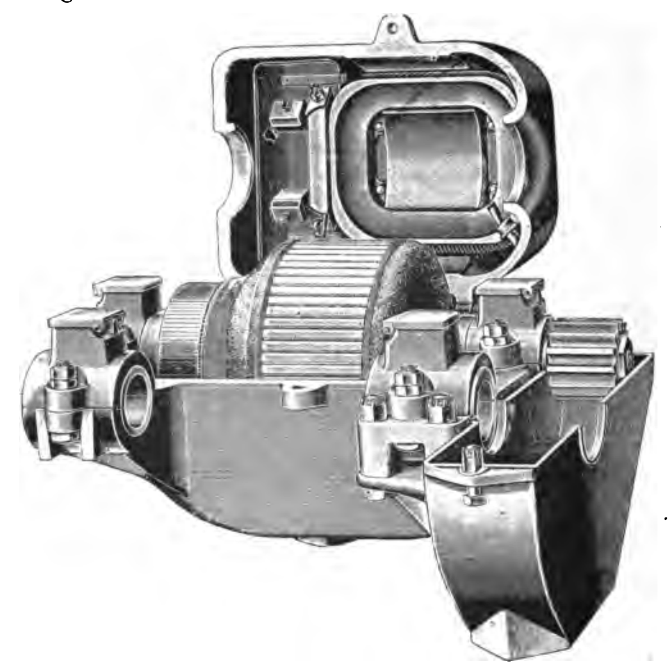


Fig. 95. — Moteur électrique ouvert en grand.

répandu aux Etats-Unis. C'est le type GE, 800 de la *General Electric Company*, ainsi désigné parce qu'il peut exercer sur la barre d'attelage un effort de traction de 800 livres [1]. Sa puissance est de 25 chevaux.

[1] Nous devons citer également les excellents moteurs de la Compagnie Westinghouse, et chez nous ceux de la Société Fives-Lille, de Sautter-Harlé, de la Société Alsacienne, etc.

On peut ouvrir le moteur en grand, comme l'indique la figure 95; ou bien, en soulevant un couvercle latéral on inspecte seulement le collecteur (fig. 95 *bis*). Cette dernière opération peut se faire en cours de route, en ouvrant une petite trappe ménagée dans le plancher de la voiture.

Le moteur est monté comme l'indique la figure 96. Par

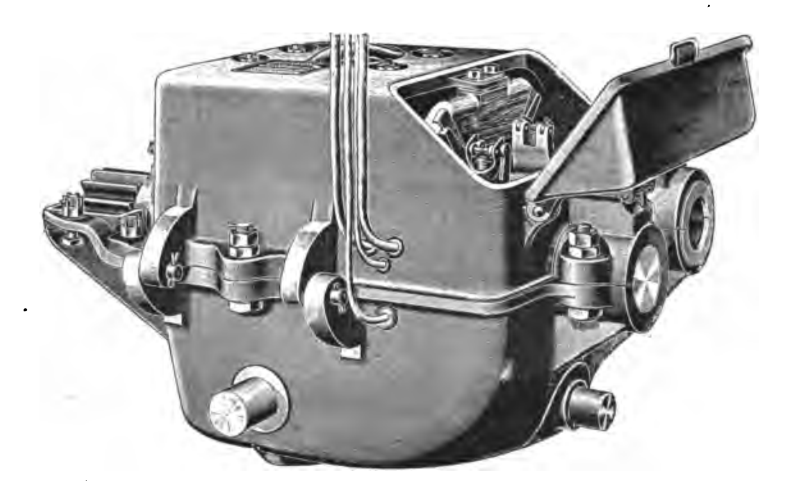


Fig. 95 *bis*. — Moteur électrique ouvert seulement pour la visite du collecteur.

deux paliers il porte sur l'essieu moteur. En arrière, il est soutenu par une barre transversale fixée elle-même au truck par l'intermédiaire de tampons en caoutchouc[1]. La transmission des mouvements est assurée par une roue dentée en fonte engrenant avec un pignon en acier, monté sur l'essieu. Le rapport des engrenages est de 4,70 à 1. Le moteur pèse,

[1] Certains constructeurs préfèrent employer une barre non élastique, sauf à soutenir le moteur, au point d'attache, par une suspension à ressort.

enveloppe comprise, environ 700 kg, soit 28 kg par cheval.

On doit se préoccuper, pour l'installation d'un moteur sur un truck de tramways, de réduire autant que possible le poids porté par l'essieu, afin d'amortir les chocs qui se pro-

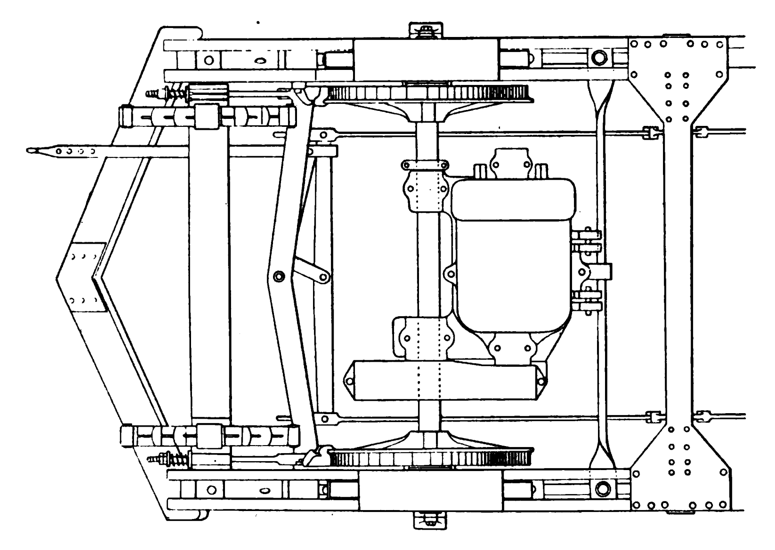


Fig. 96. — Montage du moteur sur le truck. — Vue en plan.

duisent aux passages des éclisses. C'est ainsi que, dans le truck de la General Electric, le point d'attache du moteur, sur la barre arrière, se trouve un peu au-dessous du centre de gravité du moteur et de son enveloppe.

Dans un même ordre d'idées, M. Short suspend son moteur à action directe pour ainsi dire au-dessus de l'essieu.

Le truck Walker présente (fig. 97) une disposition originale. Le moteur est excentré par rapport à l'essieu et il repose sur cette pièce par l'intermédiaire de ressorts. Une

barre fixée au truck et sur laquelle il s'appuie également par l'intermédiaire de ressorts forme second point d'appui. Le moteur est ainsi doublement suspendu : à l'avant et à l'arrière.

Un moteur pour tramway doit être excessivement robuste

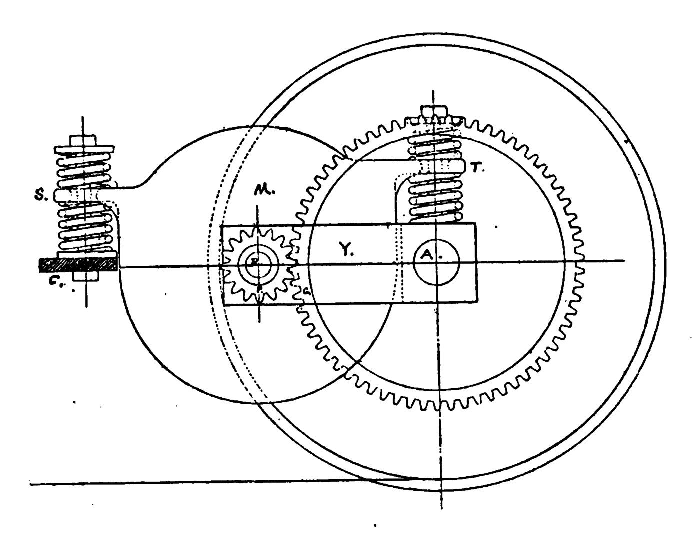


Fig. 97. — Mode de suspension du moteur Walker.

et il faut pouvoir, quand une pièce est avariée, la remplacer rapidement.

Aux Etats-Unis chaque pièce est cataloguée et, si on ne la possède pas en magasin, il suffit de s'adresser au constructeur pour la recevoir sans délai.

La plus importante partie de la dépense d'entretien d'un moteur concerne le collecteur qui s'use assez rapidement (un ou deux ans) par suite du frottement des balais et des étin-

celles qu'occasionnent les variations brusques de courant. A ce double point de vue on doit conseiller l'emploi de *balais en charbon*, de préférence aux balais en toile métallique, en clinquant ou en fils de cuivre.

Ces balais se placent normalement au collecteur et, comme on le verra plus loin, ils n'ont pas besoin d'être décalés quand on veut changer le sens de la marche.

Dans un moteur à courants polyphasés, il n'y a pas de collecteurs (des bagues de prise de courant suffisent). C'est là un des avantages que l'on fait avec raison valoir en faveur du système.

Fonctionnement des moteurs. — (a). *Moteur à courant continu excité en série.* — Les moteurs de cette catégorie sont de beaucoup les plus employés pour la traction des tramways (nous dirons plus loin pourquoi). C'est le même courant I (en ampères) qui traverse les inducteurs et l'induit.

En tournant, le moteur développe une force contre-électromotrice e égale à la force électromotrice qu'il engendrerait s'il fonctionnait à la même vitesse comme une dynamo. Soit n le nombre de tours du moteur par seconde. Le couple mécanique produit sera[1]

$$C = \frac{eI}{2\pi n} \qquad (1)$$

Ce couple varie avec e, I et n. Il est nécessaire d'en connaître les variations, puisqu'elles caractérisent les différentes

[1] En négligeant le couple parasite dû aux frottements et la réaction d'induit.

valeurs de l'effort que peut développer le moteur. On peut les étudier analytiquement en remarquant que l'on a d'une part

$$e = Kn\varphi \quad (2)$$

K étant une constante et φ le flux magnétique produit dans les inducteurs par le courant I, et d'autre part

$$I = \frac{E - e}{R} \quad (3)$$

E étant le voltage aux bornes généralement (500 volts) et R la résistance intérieure du moteur (en ohms).

Mais il est plus commode de considérer les courbes obtenues en prenant comme abscisses les vitesses (n) et en portant en ordonnées le couple C et les intensités I (fig. 98)[1].

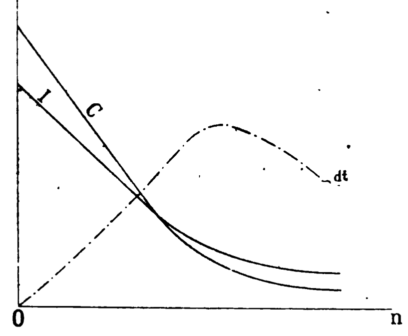


Fig. 98. — Couple, intensité et rendement dans un moteur à courant continu, excité en série, quand la vitesse varie.

Au démarrage la force contre-électromotrice est nulle, puisque la vitesse est nulle. A ce moment le courant qui traverse le moteur est maximum (comme le montre la formule 3) et il en est de même du couple, qualité tout à fait précieuse pour un moteur de tramway.

Le courant étant très intense, les inducteurs sont saturés. La force contre-électromotrice va croître dans ces conditions

[1] Figure extraite du cours de M. Blondel à l'École des Ponts et Chaussées.

proportionnellement à n. Donc C et I vont décroître rapidement suivant une ligne droite. Puis, la décroissance sera de moins en moins rapide. Dans cette dernière région à une petite variation de C correspond une grande variation en sens inverse de n. C'est-à-dire que lorsque l'on déchargera le moteur, il aura une certaine tendance à s'emballer.

Autant que possible il faut faire travailler un moteur dans des conditions voisines de son maximum de rendement industriel. Un moteur parfait serait celui qui aurait un excellent rendement à toute vitesse. Mais généralement ce résultat n'est atteint que pour une vitesse déterminée (courbe en pontillé de la figure 98). On s'arrange pour que cette vitesse corresponde à la vitesse normale des tramways.

Les principales manœuvres que l'on a à effectuer avec un moteur de tramway sont le démarrage, le réglage de la vitesse, le stoppage et la marche arrière.

Démarrage. — En lançant le courant dans le moteur, il se produit un couple maximum et le moteur démarre. Mais il faut prendre des précautions pour que le courant qui, ainsi que nous venons de le voir, n'est pas entravé par la force contre-électromotrice, n'arrive pas en trop grande abondance, car il risquerait de porter les bobines du moteur à une température qui serait préjudiciable à leur isolement

Aussi, atténue-t-on sa violence en le faisant passer dans un rhéostat que l'on diminue au fur et à mesure que la vitesse croît.

. Ce système entraînant une perte sèche d'énergie, on peut,

sur les voitures à deux moteurs, prendre l'un d'eux comme résistance.

A cet effet, on les alimente tout d'abord en série, sauf à rendre à chacun d'eux son indépendance lorsque le coup de collier du démarrage a été donné.

On peut, de cette façon, réduire notablement la résistance de démarrage et réaliser, surtout sur les lignes où les arrêts sont fréquents, une économie très sensible [1].

Réglage de la vitesse. — Considérons un tramway en marche. Le moteur développe un couple constant. Or ce couple C est égal à

$$\frac{Ie}{2\pi n} \quad \text{ou encore à} \quad \frac{e\,(E - e)}{R \times 2\pi n} \qquad (a)$$

puisque $I = \frac{E - e}{R}$

L'expression (a) montre que si E diminue, n diminuera également. Si au contraire E augmente, n augmentera. Donc on peut régler la vitesse d'un tramway en faisant varier le voltage aux bornes. C'est ce que l'on obtient à l'aide d'une résistance insérée sur le circuit principal. Pour une augmentation de résistance, la vitesse diminuera et inversement.

Mais, en opérant ainsi, on absorbe inutilement de l'énergie. Il vaut mieux agir sur le champ magnétique que l'on fait varier en shuntant le circuit inducteur avec une résistance. La formule $e = Kn\varphi$ indique que si φ diminue, n augmentera et

[1] Nous citerons, à ce sujet, les expériences faites par M. Dierman avec deux moteurs de 25 chevaux de la General Electric Company. En employant des rhéostats on a dépensé, pendant les 18 secondes qu'a duré le démarrage, 62,4 ampères moyens, alors qu'en groupant les moteurs en série on n'a plus consommé que 42,9 ampères (voir l'*Eclairage électrique* du 7 décembre 1895).

inversement. Donc en diminuant le champ magnétique on accroîtra la vitesse de la voiture.

C'est ce résultat que l'on obtient avec le shuntage des inducteurs, car alors le courant qui excite les électro-aimants se trouve diminué d'intensité et il en est de même du nombre des ampères-tours.

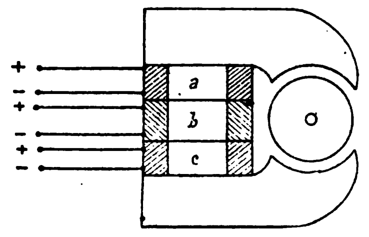


Fig. 99. — Inducteur à galettes.

On obtient le même résultat en divisant, comme le fait la société Fives-Lille, le circuit inducteur en « galettes » et en les couplant de façon convenable.

Fig. 100. — Différents groupements avec un inducteur à galettes.

La figure 100 montre les combinaisons principales que l'on peut réaliser, par exemple, avec un inducteur à trois galettes. A la première position (galettes en série) correspond une faible vitesse. Avec les trois galettes en quantité (dernière position), la vitesse est au contraire maxima.

Sur les voitures à deux moteurs, on dispose d'une marge

encore plus grande. Généralement on utilise la série des combinaisons ci-après (fig. 101).

1° Les 2 moteurs sont en série sur une résistance variable (démarrage);

2° Les 2 moteurs sont en série et la résistance est supprimée;

3° Les 2 moteurs sont en quantité sur une résistance variable;

4° Les 2 moteurs sont en quantité et la résistance est supprimée (vitesse normale);

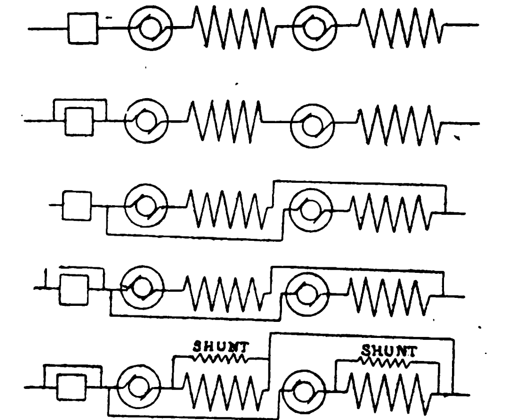


Fig. 101. — Différents groupements des inducteurs avec deux moteurs.

5° Les deux moteurs sont en quantité et leurs inducteurs sont shuntés avec une résistance (grande vitesse).

On peut imaginer d'autres combinaisons. Elles varient avec les constructeurs.

Sur les tramways à accumulateurs, dont les moteurs sont excités en série, on dispose d'un moyen bien simple pour faire varier la vitesse. C'est de faire varier le potentiel aux bornes des moteurs, en divisant la batterie en un certain nombre de sous-batteries que l'on groupe en série ou en quantité. De cette façon, la manœuvre s'effectue évidemment sans perte aucune d'énergie.

Stoppage. — En coupant brusquement le courant on risquerait de produire des extra-courants dangereux pour la conservation de l'appareillage. Aussi il est bon de n'exécuter cette manœuvre qu'après avoir inséré progressivement sur le circuit des résistances appropriées (celle de démarrage, par exemple).

Nous verrons plus loin, en parlant des freins, comment on peut se servir des moteurs eux-mêmes pour obtenir des arrêts excessivement rapides.

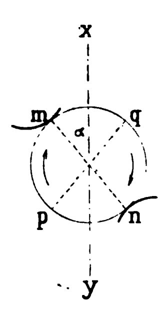


Fig. 102.
Marche arrière.

Marche arrière. — Considérons le collecteur d'un moteur excité en série (fig. 102). L'angle de calage des balais se trouvera en arrière de la ligne neutre xy, par rapport au sens du mouvement.

Si l'on change le sens du courant dans l'induit ou dans les inducteurs, le sens du mouvement va changer et la ligne des balais se placera suivant pq.

Par conséquent, pour marcher en arrière, il ne suffira pas seulement de changer le sens du courant soit dans les inducteurs, soit dans l'induit, il faudra aussi faire tourner les balais de l'angle $\pi - 2\alpha$ [1].

On évite cette sujétion en employant des moteurs pour lesquels les balais se placent exactement suivant la ligne

[1] En les faisant seulement tourner de l'angle 2α ils seraient pris à rebrousse-poils.

neutre *xy*[1]. Dans ce cas, le changement de marche s'opère par la simple manœuvre d'un interrupteur.

L'usage est de changer le sens du courant dans l'induit, à l'exclusion des inducteurs, afin de ne pas affaiblir par trop le magnétisme rémanent du moteur.

(b). *Moteurs excités en dérivation.* — Ces moteurs, bien qu'ayant de très grands avantages, ne sont presque jamais employés pour la traction des tramways.

D'abord, à puissance égale, ils coûtent plus cher que les moteurs excités en série.

Ensuite, ils peuvent conduire sur les rampes à des consommations de courant excessives.

Enfin, lorsque le courant vient à s'interrompre, par suite d'un mauvais contact des roues avec les rails ou du trolley avec le conducteur aérien, ils développent moins vite leur force contre-électromotrice que les moteurs en série. Pour ces derniers, en outre, la self-induction des enroulements inducteurs s'oppose à une arrivée de courant exagérée.

Les moteurs en dérivation n'ont guère été adoptés que sur des voitures à traction par accumulateurs. Dans ce cas, le dernier inconvénient signalé n'existe pas, puisque les moteurs sont branchés sur le circuit de la batterie. De plus, lorsque le moteur fonctionne aux descentes, comme dynamo génératrice, il peut charger de lui-même les accumulateurs. Avec des moteurs en série, il faudrait au contraire, au

[1] Pour pouvoir réaliser cette disposition, il faut que le champ inducteur soit très intense relativement au champ produit par l'induit. Autrement dit, la *réaction d'induit* doit être à peu près nulle.

moment où le courant s'annule, effectuer un changement de pôle.

Un moteur en dérivation a son couple maximum au démarrage [1]. Il est de lui-même autorégulateur de vitesse, c'est-à-dire qu'il proportionne sa consommation de courant à l'effort qu'il a à développer. Mais on peut faire varier la vitesse à volonté en modifiant l'excitation à l'aide de résistances. Un rhéostat d'induit est également nécessaire pour les démarrages.

(c). *Moteurs à courants polyphasés.* — Un moteur à courants polyphasés comporte un *système fixe,* produisant un champ magnétique tournant et un *système mobile* (induit) qui tourne sous l'action du champ tournant et dans lequel le champ développe des courants électriques, comme le fait le primaire d'un transformateur de courant alternatif, en agissant sur son secondaire.

Si ω_1 est la vitesse angulaire du champ tournant, ω_2 celle de l'induit la quantité $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ est ce que l'on appelle le *glissement* de l'appareil.

Le couple mécanique, en fonction de la vitesse de rotation de l'induit, peut être représenté par la courbe DMB de la figure 103. Le point B correspond à un glissement nul ($\omega_2 = \omega_1$). D'autre part OD est le couple au démarrage. On voit que, relativement à celui que l'on obtient avec un courant continu, il est faible. Mais on peut l'augmenter en insé-

[1] Le démarrage doit se faire avec les mêmes précautions que pour un moteur excité en série.

rant des résistances dans l'induit. On obtiendra alors, par exemple, la courbe ENB qui montre que le couple au démarrage sera OE et non OD[1].

Mais cette courbe sera moins satisfaisante que la première, car la pleine charge NP correspondra à un glissement PB plus grand que le glissement QB[2]. Or, on sait que le rendement du moteur croît quand le glissement diminue (en général le glissement réalisé dépasse rarement à pleine charge 5 à 6 p. 100 de ω_1). On aura donc intérêt, dès que le moteur aura pris sa vitesse, à retirer la résistance introduite et à retomber sur la courbe DMB.

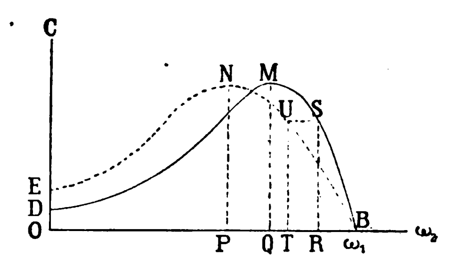


Fig. 103. — Différentes valeurs du couple dans un moteur à courant polyphasé, quand la vitesse varie.

Pour que le moteur fonctionne avec un bon rendement, il y a avantage à l'employer dans la région MQB. On voit alors que, pour des variations importantes du couple, le moteur conservera sensiblement sa vitesse. C'est-à-dire qu'il pourra, sans que l'on ait besoin d'effectuer aucune manœuvre, monter une rampe avec la même vitesse qu'en palier.

Le ralentissement s'opère très facilement en intercalant

[1] *Les courants polyphasés*, par Silvanus Thompson (traduit par M. Boistel). On peut, de cette façon, obtenir des couples de démarrage trois à quatre fois plus forts que le couple normal.

[2] Ces deux longueurs représentent bien des glissements, car QB par exemple est égal à OB—OQ, c'est-à-dire à $\omega_1 - \omega_2$.

des résistances dans l'induit. Cela se voit aisément sur la figure 103. Si on suppose, par exemple, que l'on marche avec la vitesse angulaire OR correspondant au couple RS, en introduisant la même résistance que précédemment on

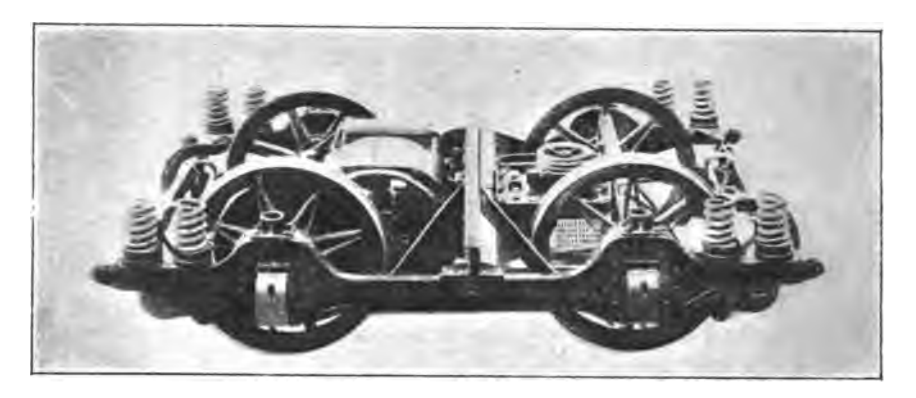


Fig. 104. — Moteur et truck du tramway à courants triphasés de Lugano.

pourra obtenir le même couple TU, mais la vitesse sera devenue OT, au lieu de OQ[1].

Pour marcher en arrière, on n'a qu'à changer le sens du champ tournant.

Toutes les manœuvres se font à Lugano (courants triphasés) avec la plus grande facilité.

Les moteurs à courants polyphasés pour tramways n'ont pas encore été autant étudiés que les moteurs à courants continus ; mais ils se prêtent parfaitement, par leur forme et par leur poids à leur installation sous la caisse de la voiture.

[1] On pourrait aussi faire varier la vitesse en augmentant ou diminuant le nombre des pôles inducteurs.

Nous montrons (fig. 104) le moteur combiné par M. Brown pour le tramway de Lugano. Ce moteur a une puissance de 25 chevaux. Il est représenté monté sur le truck et actionnant l'un des essieux. On aperçoit, à droite, les résistances de réglage et de démarrage.

Contrôleur. — On appelle *contrôleur* l'appareil qui permet au conducteur — le *wattman* pour employer l'expression américaine — de procéder rapidement à toutes les manœuvres du tramway.

Cet appareil a généralement la forme d'un cylindre vertical. Il se place immédiatement à l'avant de la voiture et comporte une série de contacts (autant que possible en charbon) qui envoient le courant, suivant les cas, dans la résistance de démarrage, dans les moteurs couplés en série, en quantité, dans les shunts des inducteurs, etc...

Lorsqu'une voiture doit revenir en sens inverse, sans tourner, on la munit de deux contrôleurs, l'un à l'avant, l'autre à arrière. Le conducteur n'a qu'à changer de place lorsqu'il est arrivé à l'extrémité de la ligne. Il a naturellement soin, alors, s'il s'agit d'un tramway à trolley, de faire exécuter à la perche une rotation de 180°, de manière que celle-ci se trouve, au moment du départ, inclinée vers l'arrière.

Avec l'archet, cette dernière manœuvre n'est pas nécessaire. Cet appareil se place en effet de lui-même, dès que la voiture avance, suivant l'inclinaison voulue.

Appareils divers. — Ces appareils comprennent : 1° des

résistances pour le démarrage et le shuntage des inducteurs. Nous avons expliqué plus haut leur fonctionnement.

Il est intéressant que ces résistances occupent le moins de place possible. On les constitue généralement par des fils de maillechort ou par des rubans en fer serrés et pliés en zigzag et isolés entre eux par du mica ou de l'amiante [1]. Les résistances étant exposées à chauffer fortement ne doivent pas évidemment être voisines de masses combustibles.

2° Des *coupe-circuits* constitués par des fils de plomb ou de cuivre qui doivent fondre quand le courant atteint une intensité donnée, ou encore par des interrupteurs automatiques qui coupent le courant dès qu'il devient dangereux.

Le but est de préserver les moteurs contre un courant exagéré, comme il pourrait s'en produire au moment d'un effort excessif.

Avec des coupe-circuits constitués par des fils fusibles, on doit prendre des précautions pour qu'il ne se forme pas un arc électrique lorsque les fils fondent. La Cie Thomson Houston dispose à cet effet, en regard des coupe-circuits, un électro-aimant qui souffle l'arc dès qu'il se produit.

3° Des *parafoudres*, appareils indispensables sur les tramways à conducteurs aériens. Car lorsque le tonnerre tombe sur les fils, il peut, par le trolley ou l'archet, pénétrer dans les voitures.

5° Des *interrupteurs principaux*, situés sous le toit de la

[1] On emploie aussi, sur quelques lignes, des résistances liquides.

plate-forme et que l'on dispose souvent pour les faire servir comme interrupteurs automatiques, etc.

Freins. — La rapide allure à laquelle les tramways électriques peuvent circuler a, comme corollaire, l'emploi de freins très puissants.

On peut faire usage, comme sur les autres systèmes de tramways, de freins à patin ou mieux de freins à collier de serrage. Mais, simultanément, on emploiera un *frein électrique*, constitué par les moteurs eux-mêmes.

On sait que lorsque l'on veut produire du courant à l'aide d'une dynamo il faut dépenser un certain travail mécanique. Or un moteur de tramway n'est autre qu'une dynamo, qui reçoit du courant de la station centrale, quand elle remorque la voiture, et qui peut au contraire en fournir quand, le courant une fois coupé, elle continue à tourner sous l'impulsion acquise. En envoyant ce courant dans des résistances, la dynamo subira une force retardatrice considérable et la voiture s'arrêtera. Plus la résistance sera faible et plus l'arrêt se fera avec rapidité.

Avec deux dynamos on possède encore un système de freinage énergique en les mettant en court-circuit l'une sur l'autre. L'action est excessivement brusque, car la dynamo qui reçoit le courant tend à tourner en sens inverse de l'autre. On n'opère ainsi, généralement, qu'en cas de danger.

Ces divers systèmes de freinage étant non seulement commodes, mais aussi efficaces que l'on peut le désirer, on n'a pas ordinairement recours à l'air comprimé. Mais on

pourrait, si on le voulait, employer également des compresseurs d'air que mettrait en mouvement un petit moteur électrique. Ces compresseurs d'air se rencontrent sur quelques lignes où l'on s'en sert pour actionner des sifflets qui remplacent alors la trompette traditionnelle [1].

Éclairage et chauffage des voitures. — Il est tout indiqué d'éclairer les tramways électriques à l'électricité.

Comme on n'a pas besoin de foyers très intenses, on prend des lampes à incandescence de 10 à 16 bougies. Ces lampes fonctionnent généralement sous une tension de 100 à 110 volts ; on est amené, par suite, sur les lignes où l'on se sert de courant à 500 volts, à mettre 5 lampes en série. C'est plus qu'il n'en faut pour éclairer parfaitement la voiture.

Sur quelques lignes on éclaire aussi les voitures à l'aide d'une petite batterie d'accumulateurs que l'on charge à l'usine (Bristol).

Le chauffage électrique est encore peu répandu. Ce n'est pas qu'il ne soit excessivement commode, mais il est assez coûteux.

Cependant certaines compagnies américaines emploient des *radiateurs* qu'elles placent sous les banquettes et qui donnent d'excellents résultats. Comme dans tous les appareils de chauffage électrique, l'organe principal est une résistance que l'on fait traverser par une dérivation du courant.

La figure 105 représente un radiateur fabriqué par la

[1] Aux États-Unis, au lieu de trompettes, on emploie des timbres qui produisent un son moins désagréable.

Consolidated Car Heating Company, d'Albany (États-Unis). Il est constitué par des fils de fer galvanisé enroulés sur un cylindre en porcelaine. Un commutateur permet d'insérer sur le circuit plus ou moins de résistance et par suite de régler à volonté la quantité de chaleur dégagée.

Des appareils de ce genre sont employés à Boston. Mais



Fig. 105. — Radiateur électrique pour le chauffage des voitures.

on ne les met généralement en charge qu'au moment où l'activité de la circulation se ralentit. On a remarqué, en effet, que lorsque les voitures étaient pleines de voyageurs elles se maintenaient, même par les grands froids, à une température suffisante.

Fenders. — On désigne ainsi des filets que l'on place à l'avant des voitures et qui ramassent les passants tombés accidentellement sur la voie.

Pour adoucir le choc que produit ce filet au moment où il agit, on le munit d'un cadre élastique et même d'un bourrelet pneumatique comme celui de la figure 106.

Les fenders sont assez difficiles à installer, en ce sens que s'ils rasent de trop près le sol ils sont soumis à des soubre-

sauts qui les détériorent rapidement et qui les empêchent de fonctionner convenablement. Si au contraire ils sont trop



Fig. 106. — Fender avec bourrelet pneumatique.

élevés, ils risquent de passer par-dessus les personnes à ramasser et ils peuvent même les blesser grièvement.

Aussi, très souvent, le filet est-il relevé verticalement le long de la voiture et le conducteur ne le rabat qu'en cas de danger (fig. 107).

Dans un ordre d'idées analogue on construit des fenders horizontaux qui peuvent se rentrer sous la voiture et que le conducteur fait jaillir en avant par un simple mouvement du pied ou des genoux (fig. 108).

Les fenders sont surtout employés aux États-Unis où, en raison de la grande vitesse atteinte dans les rues, ils rendent d'incontestables services.





Fig. 107. — Fender à rabattement.

Comme preuve, on peut citer les chiffres suivants relevés par M. H. Tavernier [1].

En 1893, la West End Street Railway Company, de Boston,





Fig. 108. — Fender glissant.

dont les voitures sont munies de fenders, eut 347 accidents dont 1,7 p. 100 seulement furent suivis de mort. Ce rapport

[1] *Les Tramways en Amérique.* Annales des Ponts et Chaussées, janvier 1896.

s'est au contraire élevé à 12 p. 100 pour l'ensemble des tramways électriques de l'État de Massachusetts.

Remisages. — Nous n'avons rien de particulier à dire des remises pour voiture, si ce n'est que l'électricité facilite singulièrement les manœuvres que l'on a à y effectuer.



Fig. 109. — Chasse-neige électrique.

L'inspection des trucks se fait soit en amenant les voitures au-dessus de fosses suffisamment profondes pour que l'on puisse y circuler aisément, soit en enlevant la caisse de la voiture à l'aide d'un treuil électrique.

Certaines compagnies, plutôt que de construire de nombreuses fosses de visite, préfèrent établir tout le sol de la remise à 1,50 m environ au-dessous du niveau des rails. Les voies sont supportées par des colonnes entretoisées. Un plancher mobile les recouvre, lorsque l'on n'a pas besoin d'inspecter le matériel.

Voitures pour l'enlèvement des neiges. — Certaines villes des États-Unis ont à supporter, en hiver, des températures excessivement rigoureuses. Les chutes de neiges étant abon-

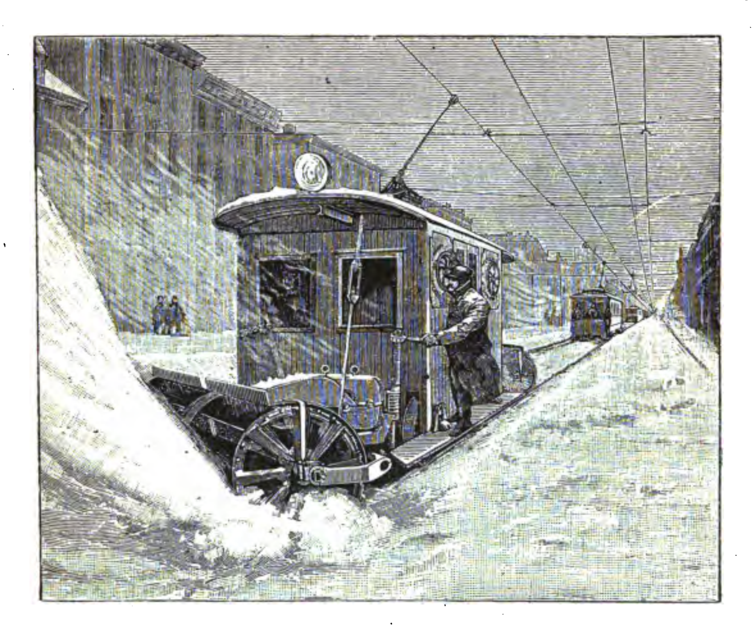


Fig. 110. — Balai-brosse électrique pour l'enlèvement de la neige.

dantes, il faut souvent procéder à un dégagement rapide des voies.

On y arrive facilement à l'aide de *charrues à neige* ou encore à l'aide d'appareils rotatifs analogues à celui que représente la figure 109. La neige, découpée par une sorte d'avant-bec, est chassée ensuite sur l'un des côtés de la voie par un ventilateur électrique [1].

[1] *Les chemins de fer à l'exposition de Chicago* par MM. Grille et Falconnet.

Quand la couche est peu épaisse un simple balayage suffit. On emploie alors un *balai-brosse* en fils d'acier, placé obliquement par rapport à l'axe de la voie, de telle façon qu'en tournant il puisse rejeter la neige en dehors des rails (fig. 110). Un rabatteur en tôle guide le jet [1].

Ces divers appareils sont toujours mis en mouvement par

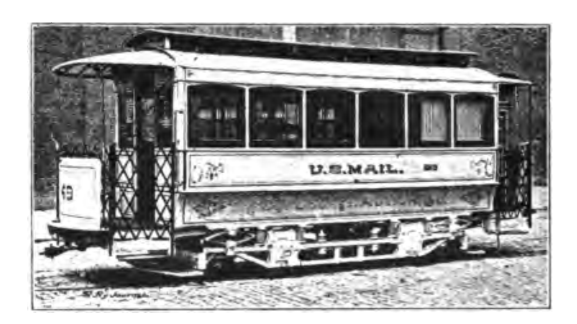


Fig. 111. — Tramway-poste de Philadelphie.

un moteur électrique, indépendant de celui qui fait avancer la voiture qui les porte. On obtient ainsi une action très énergique, même quand la voiture est obligée de ralentir.

L'enlèvement des neiges constitue, pour certaines Compagnies une très grosse dépense annuelle. C'est ainsi que la West End Street Railway C°, de Boston, dépense annuellement, pour ce service, de 300 000 à 500 000 francs. Le nombre de ses voitures chasse-neige dépasse 160.

Voitures diverses. — Une voie pour tramways électriques

[1] *La Nature* du 3 décembre 1892.

peut souvent être utilisée par des voitures effectuant un service tout autre que le transport des voyageurs.

C'est ainsi que dans certaines villes des États-Unis on se sert des voies de tramway pour faire circuler des voitures



Fig. 112. — Voiture à plate-forme démontable pour la visite et l'entretien des conducteurs aériens.

d'arrosage à grande capacité qui arrosent rapidement une grande étendue de chaussée.

La poste emprunte également parfois les rails des tramways, comme à Philadelphie (fig. 111) et à Saint-Louis[1]. Ailleurs on a organisé de cette façon un service de distribution des petits paquets (Boston).

[1] Le tramway-poste de Saint-Louis fait 190 km par jour à une vitesse de 20 km. Les facteurs attendent sur certains points et reçoivent, toute triée, la correspondance qu'ils doivent distribuer.

Enfin quelques villes — bien américaines — possèdent même des corbillards électriques, très décemment aménagés et qui choquent d'autant moins la population qu'elle est habituée à voir les voitures des pompes funèbres circuler dans les rues au grand trot.

Comme accessoire d'une ligne de tramway, nous devons citer les voitures qui servent pour l'inspection et la réparation des conducteurs aériens.

Ces voitures doivent supporter une plate-forme très élevée, afin que les ouvriers puissent atteindre facilement les isolateurs ainsi que les pièces de croisement et d'aiguillage.

Différents types sont adoptés. Nous représentons par la figure 112 une voiture à plate-forme démontable qui se loge facilement dans les dépôts.

CHAPITRE VIII

STATIONS CENTRALES POUR LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Puissance d'installation. — Consommation par voiture. — Matériel : (*a*) Dynamos ; (*b*) Moteurs ; (*c*) Chaudières ; (*d*) Tableau de distribution. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Stations de transformation : (*a*) Transformation du courant continu à haute tension en courant continu à 500 volts ; (*b*) Transformation du courant alternatif à haute tension en courant continu à 500 volts ; (*c*) Transformation des courants polyphasés à haute tension en courant continu à 500 volts ; (*d*) Transformation des courants polyphasés à haute tension en courants polyphasés à basse tension.

Puissance d'installation. — Le courant électrique consommé par les voitures est produit dans des stations centrales dont l'importance dépend de celle du réseau à alimenter.

Pour une première approximation on comptera de 15 à 30 chevaux par voiture de 50 places, selon qu'il s'agira d'un très grand réseau, avec départs rapprochés, ou d'une installation très modeste (une dizaine de voitures en service)[1].

Si l'on veut calculer exactement la puissance de l'usine,

[1] Voici une échelle un peu plus détaillée :

Nombre de voitures en service.	Puissance à prévoir par voiture.
1 à 5	35 chevaux.
5 à 10	30 —
10 à 15	25 —
15 à 25	20 —
25 à 30	15 —

on partira des formules établies dans le chapitre II et en tenant compte :

1° Du rendement des moteurs des voitures (65 à 75 p. 100);

2° De la perte en ligne et dans les feeders (ordinairement 10 p. 100);

3° Du rendement de l'usine qui peut varier dans de très grandes limites, mais qui est rarement supérieur à 70 p. 100.

Ces divers coefficients, combinés entre eux, montrent que le rendement total d'un réseau n'atteindra que très exceptionnellement 50 p. 100. En général, il sera inférieur à 40 et même 30 p. 100[1].

Il est nécessaire d'expliquer pourquoi les variations du rendement de la station centrale peuvent être aussi étendues.

Supposons une usine n'alimentant qu'une seule voiture. Le travail, nul aux arrêts, va s'élever brusquement au démarrage; il décroîtra ensuite, passera par zéro quand le tramway s'arrêtera pour prendre un voyageur, s'élèvera de nouveau au départ, etc.

Ce sont là, pour la ou les machines de l'usine, de très mauvaises conditions de fonctionnement. Elles se traduiront naturellement par un rendement déplorable.

Si plusieurs voitures sont à la fois en service, la situation va se trouver sensiblement améliorée. Il sera excessivement rare, en effet, que celles-ci s'arrêtent ou démarrent toutes en même temps. La puissance instantanée se rapprochera

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1896.

donc de la puissance moyenne. Néanmoins de grandes variations seront encore inévitables.

Il n'y a, en réalité, que sur les très grands réseaux où les variations de consommation de chaque voiture se perdent dans la consommation générale et où, par suite, les machines peuvent travailler dans des conditions voisines de la pleine charge, c'est-à-dire dans des conditions correspondant à leur maximum de rendement.

Les stations centrales n'ont pas seulement à faire face à des variations de consommation instantanées. On doit en outre remarquer que, suivant l'heure de la journée, le réseau se trouvera plus ou moins chargé. Mais, à ce point de vue, elles sont dans une situation bien préférable à celle des usines électriques, alimentant uniquement des réseaux d'éclairage.

Celles-ci n'ont, en effet, à donner leur grand effort que pendant une courte période d'allumage (trois à quatre heures) et, pendant le reste de la journée (à moins de charger des accumulateurs), elles restent à peu près inutilisées.

S'il s'agit d'un réseau de tramways à accumulateurs, les conditions de fonctionnement de l'usine seront évidemment meilleures (à la condition toutefois que l'on établisse un roulement pour la charge des batteries), puisqu'il faudra effectuer, à chaque charge, un travail nettement déterminé. Aussi la *Société industrielle des moteurs électriques et à vapeur* qui a installé les nouvelles lignes de la *C[ie] des Tramways de Paris et du département de la Seine* (voir page 130) n'a-t-elle compté, pour 25 ou 28 voitures en service, que 400 chevaux soit, en moyenne, 15 chevaux par voiture.

Dans toute station centrale une *réserve* est indispensable. On la prend ordinairement égale à 1/3 ou 1/2 de la puissance d'installation strictement nécessaire.

Consommation par voiture. — On évalue généralement cette consommation de deux façons :

Soit en kilogrammes de charbon par voiture-kilomètre ;

Soit en watts-heure par voiture-kilomètre ou mieux par tonne-kilomètre.

La consommation de charbon par voiture-kilomètre dépend non seulement de l'importance et du profil du réseau (et aussi, naturellement, de la qualité du combustible), mais encore, comme l'ont fait remarquer MM. Reckenzaun et Pellissier, de la façon dont sont conduites les voitures.

Ainsi, à Bordeaux, le poids de charbon brûlé par voiture-kilomètre s'est abaissé de 2,785 kg à 2,200 kg, lorsque la Compagnie a fait placer des poteaux indiquant aux mécaniciens quand ils doivent interrompre le courant.

Le mode de couplage et de réglage des moteurs a aussi sur la consommation de charbon une influence marquée. Toutes choses égales d'ailleurs, on conçoit que le réglage de la vitesse par la variation du champ magnétique (voir ch. VIII) soit plus économique que le réglage à l'aide de résistances ou de shunts.

Il est rare que la consommation de charbon descende par voiture-kilomètre de 50 places et à 2 moteurs de 25 chevaux au-dessous de 1,500 kg. Elle atteint plus souvent 2 kg, 2,500 kg et même davantage

En watts-heure on compte, suivant le profil des voies, de 60 à 80 watts-heure par tonne-kilomètre, soit pour une voiture de 50 places pesant 10 tonnes, voyageurs compris, de 600 à 800 watts-heure par kilomètre.

Sur les lignes à accumulateurs de la Cie des Tramways de Paris et du département de la Seine (accumulateurs de la Société pour le travail électrique des métaux), on a dépensé en moyenne du 1er janvier 1892 au 1er janvier 1895, 1 kilowatt-heure par voiture-kilomètre. Mais il s'agit de voitures pouvant peser jusqu'à 14,5 tonnes. La dépense de charbon, qui est de 2,465 kg, est proportionnellement un peu moins forte que pour une ligne à trolley, ce qui s'explique par le travail plus régulier que l'on peut faire effectuer aux machines.

Sur les lignes de la même compagnie équipées avec des accumulateurs à charge rapide, on compte ne dépenser que 670 watts-heure, mesurés à l'extrémité des feeders, par voiture-kilomètre de 14 tonnes. Ce chiffre, qui paraît faible, aura besoin d'être vérifié.

Matériel. — Une description complète du matériel employé dans les stations centrales nous entraînerait trop loin. Nous nous bornerons à indiquer les principales conditions à réaliser.

(a). *Dynamos.* — Les dynamos doivent être robustes, afin de supporter aisément les variations de la consommation. Comme il est désirable de pouvoir les accoupler directement

aux moteurs, afin de supprimer les transmissions par courroies (lesquelles absorbent de 10 à 15 p. 100 de la puissance), on sera souvent conduit à adopter des dynamos multipolaires.

Le mode d'excitation le plus employé est l'*excitation compound*, c'est-à-dire que les inducteurs portent deux enroulements : un à gros fil traversé par le courant de la machine, un à fil fin traversé par une dérivation. En combinant convenablement ces deux enroulements, on arrive à obtenir un voltage sensiblement constant, quelle que soit la charge. On corrige au besoin les petites irrégularités, à l'aide d'un rhéostat que l'on insère sur l'enroulement en fil fin des inducteurs.

L'enroulement Compound s'impose en raison des variations rapides et fréquentes du débit. Dans certaines stations, on emploie même des *dynamos hypercompoundées*, qui donnent une tension constante non au départ de l'usine, mais à l'extrémité des feeders.

Il est indispensable d'asseoir les dynamos sur une bonne fondation en maçonnerie, pour leur permettre de résister aux efforts brusques qu'elles ont à subir.

On a reconnu que les balais en charbon détérioraient beaucoup moins le collecteur que les balais en métal. Ils sont aujourd'hui d'un usage à peu près général.

Pour le choix de la puissance des dynamos, on se rappellera que les grandes unités réduisent toujours les frais de main-d'œuvre et de surveillance. Elles offrent aussi l'avantage d'un excellent rendement.

Aux Etats-Unis, on emploie couramment des unités de 2 000 et même 2 500 chevaux. A Brooklyn, une partie du réseau est alimentée par une usine de 10 000 chevaux divisée en quatre groupes de 2 500 chevaux[1].

(b). *Moteurs.* — Les *moteurs hydrauliques* ne peuvent être adoptés que là où l'on dispose d'une chute d'eau importante, d'un débit sensiblement constant. Ils sont alors constitués par des *turbines*, ordinairement à axe vertical et sur l'arbre desquelles sont montées directement les dynamos.

Les *moteurs à vapeur*, de beaucoup les plus répandus, sont ou horizontaux ou verticaux. On paraît surtout vouloir employer aujourd'hui (quand la place ne fait pas défaut) des moteurs horizontaux dont la surveillance est certainement plus facile que celle des moteurs verticaux.

Un fort volant est de rigueur[2]. Il suffit, pour en comprendre l'utilité, de se reporter à ce que nous avons dit précédemment sur les variations de la consommation. Dans un même ordre d'idées, il est indispensable que le régulateur règle très rapidement la consommation de la vapeur.

Généralement les machines sont à un seul cylindre. Mais lorsque l'on a à alimenter un grand réseau et que, par suite, les variations de la consommation se trouvent sensi-

[1] Voir le *Génie civil* du 10 novembre 1894.

[2] A Brooklyn chaque volant pèse 75 t. Un volant pareil, qui viendrait à se rompre sous l'action de la force centrifuge, causerait dans une usine une véritable catastrophe. Aussi commence-t-on à employer, dans les grandes stations centrales américaines, des volants en acier lamellaire, qui offrent de grandes garanties de sécurité (voir *la Nature* du 25 juillet 1896).

siblement atténuées on adoptera des machines à double et à triple expension qui produisent une meilleure utilisation de la vapeur.

Quel que soit le système adopté, il est clair que l'on devra s'arranger de manière à condenser la vapeur. Il faudra donc placer l'usine en un point où l'eau se trouvera en abondance, à proximité.

Le graissage à l'huile est maintenant de plus en plus répandu. Dans les grandes stations centrales une véritable distribution d'huile est même organisée. Un réservoir est placé sous les toits et communique par des tuyaux avec les différents organes à lubrifier. Puis l'huile se rend dans un réservoir inférieur, d'où une pompe l'élève jusqu'à un filtre situé au-dessus du réservoir de départ.

(c) *Chaudières.* — Les chaudières doivent être combinées pour une surproduction momentanée de vapeur.

S'il s'agit d'une installation importante, il sera tout indiqué d'employer, pour le chargement du charbon, des appareils automatiques. On réalisera ainsi une économie notable et l'on diminuera la fumée évacuée par l'usine, ce qui est réclamé, comme on le sait, par beaucoup de municipalités.

Dans certaines usines on procède de même, automatiquement, à l'enlèvement des cendres et des escarbilles. C'est un système qui est d'autant plus à recommander que, très souvent, les chaudières sont placées en sous-sol.

La consommation de charbon devant atteindre facilement

1 kg par cheval et par heure on arrive, pour une usine de 1000 chevaux, marchant de 7 heures du matin à minuit à une consommation journalière de 17 tonnes de charbon. Ce chiffre montre combien il est important non seulement de réduire les frais de manutention du charbon, mais aussi de placer l'usine de telle façon que le combustible puisse y être approvisionné soit par bateau, soit par voie ferrée.

Il faut aussi pouvoir se procurer de l'eau, en grande quantité, et autant que possible de l'eau ne nécessitant aucune épuration préalable.

L'emploi d'*économiseurs* se généralise de plus en plus. Ces appareils se composent le plus souvent de tubes léchés par les fumées et dans lesquels on fait circuler l'eau d'alimentation, avant de l'envoyer dans les chaudières. Un système de raclettes mécaniques enlève la suie qui se dépose sur les tubes et qui formerait rapidement une couche mauvaise conductrice de la chaleur[1]. On peut ainsi gagner de 80 à 100°.

(d). *Tableau de distribution.* — Le tableau de distribution réunit les appareils servant à la manœuvre des dynamos, à la mesure du courant et à son envoi dans la ligne.

Les éléments principaux sont :

1° Un rhéostat de champ magnétique pour le réglage de l'excitation ;

2° Un interrupteur à main permettant de lancer le courant dans la ligne, quand la machine est au voltage voulu ;

[1] Dans certains économiseurs on se contente d'enlever la suie, de temps en temps, à l'aide de lances à vapeur.

3° Un interrupteur automatique coupant le courant quand il se produit un court-circuit sur la ligne et empêchant ainsi les dynamos de débiter un courant exagéré ;

4° Un voltmètre et un ampèremètre ;

5° Un parafoudre qui protège l'usine pour le cas où le tonnerre viendrait à tomber sur les conducteurs aériens.

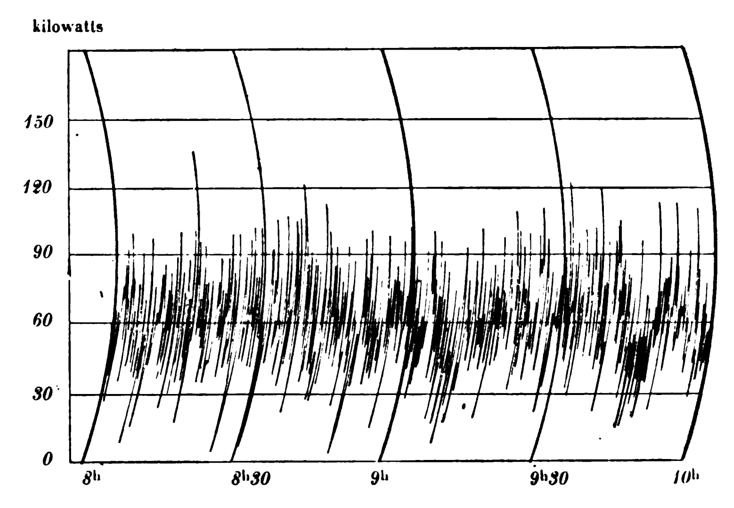


Fig. 113. — Courbe de débit d'une usine alimentant un petit réseau.

Dans un grand nombre de stations centrales il est également d'usage d'employer des appareils enregistreurs (wattmètres ou ampèremètres) qui montrent clairement toutes les variations de la consommation. Moins la ligne est chargée et plus la courbe est dentelée. La figure 113 représente une courbe relevée sur le wattmètre, dans une usine n'alimentant qu'une seule ligne, avec une dizaine de voitures

en service seulement. Sur un réseau comportant 140 voitures automotrices et 40 voitures remorquées on a obtenu au contraire la courbe représentée par la figure 114.

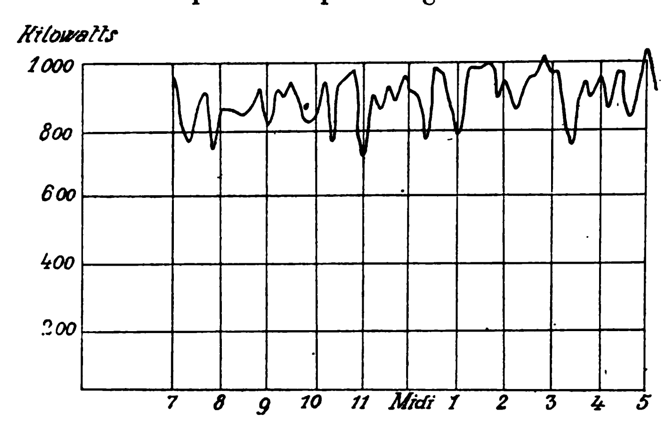


Fig. 114. — Courbe de débit d'une usine alimentant un grand réseau.

Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Les accumulateurs rendent de grands services dans les usines alimentant des réseaux d'éclairage, en fonctionnant comme volant et comme réserve.

L'idée devait venir, naturellement, de les employer également dans les stations centrales alimentant des réseaux de tramways.

On doit cependant remarquer que, dans l'un et l'autre cas, les conditions d'utilisation ne sont pas tout à fait comparables. Une usine servant à l'éclairage doit fournir du courant sans interruption. On dispose donc d'une grande marge pour la charge et la décharge des accumulateurs, et ceux-ci pourront toujours être conduits avec une allure modérée.

Dans une usine pour tramways on est un peu plus gêné, puisque celle-ci est arrêtée pendant une partie de la nuit et que d'autre part, pendant les heures de service, il est évidemment économique de demander tout le gros de la force aux machines[1].

Les accumulateurs doivent donc, dans ce cas, agir surtout comme volant, en corrigeant les inégalités de charge, pour ainsi dire instantanées, auxquelles sont soumises les machines. Leur coefficient d'utilisation sera donc moindre que pour un réseau d'éclairage. Cependant ils peuvent rendre encore de sérieux services, surtout si la courbe de consommation affecte une allure analogue à celle que représente la figure 113. On conçoit en effet qu'avec un tel régime, au lieu d'une puissance d'installation de 120 à 150 kilowatts, qui serait strictement nécessaire pour franchir les pointes de la courbe, on pourra se contenter de 60 kilowatts, correspondant à la troisième horizontale, en partant du bas de la figure. Tout ce qui est au-dessus sera fourni par une batterie d'accumulateurs. Au-dessous, les petites vallées dessinées par la courbe correspondent à du travail disponible. On l'utilisera pour charger les accumulateurs. De cette façon, on aura réduit de 50 p. 100 la puissance d'ins-

[1] Indépendamment de la station centrale de Fontainebleau, dont nous allons parler plus loin, nous citerons comme usine utilisant avantageusement une batterie d'accumulateurs, celle de Remscheid (Allemagne). Douze voitures seulement sont en service sur la ligne et, bien qu'elles consomment à certains moments jusqu'à 630 ampères, on peut les alimenter avec une seule dynamo de 180 ampères. Le complément est fourni par la batterie.

On vient également d'installer une batterie d'accumulateurs sur la petite ligne du Raincy à Montfermeil.

tallation et on fera travailler les machines dans des conditions voisines de la pleine charge.

La batterie d'accumulateurs se place ordinairement en dérivation sur le réseau. Comme sa force électromotrice peut varier dans de grandes limites, ainsi que nous l'avons expliqué dans le chapitre VI, il faut prendre des précautions pour que le courant qu'elle débite soit maintenu à la tension constante du réseau.

On peut obtenir ce résultat à l'aide d'appareils automa-

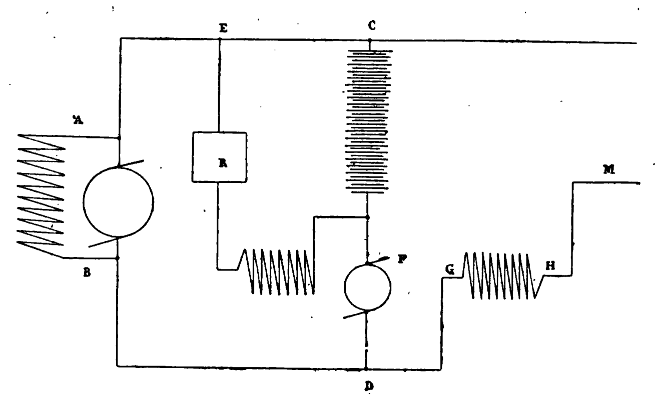


Fig. 115. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales.

tiques qui insèrent un plus ou moins grand nombre de bacs sur la ligne.

A Fontainebleau, on a adopté la disposition suivante, combinée par M. Pirani (fig. 115).

Sur le circuit des accumulateurs CD est intercalée une dynamo F dont les inducteurs portent deux enroulements d'effet opposé. L'un EF est pris en dérivation sur les accu-

mulateurs ; l'autre GH est traversé par la totalité du courant envoyé dans la ligne. Ces deux enroulements sont combinés de telle façon que, lorsque les machines travaillent à pleine charge, la force électromotrice de la dynamo auxiliaire F, ajoutée à la tension de distribution, fasse équilibre à la force électromotrice des accumulateurs.

Donc, à ce moment, la batterie ne débite ni ne reçoit aucun courant.

Si un certain travail devient disponible, le courant diminue dans GH. L'enroulement EF prédomine et la dynamo auxiliaire ajoute sa force électromotrice à celle des dynamos de l'usine pour charger les accumulateurs. Inversement, si la demande de courant dépasse le débit des machines, l'enroulement GH change le sens de la force électromotrice de la dynamo auxiliaire et la fait contribuer, ainsi que la batterie, à charger le réseau. Le rhéostat R sert, une fois pour toutes, pour le réglage.

Il existe certaines usines où l'on alimente à la fois un réseau de tramways et un réseau d'éclairage. Pour celles-ci l'emploi d'accumulateurs se justifie tout à fait. On peut même dire qu'il est indispensable, car, pour que la lumière soit bien stable, on doit éviter dans la canalisation des variations, même de 2 à 3 volts [1].

Stations de transformation. — Nous nous bornerons à examiner les transformations déjà indiquées dans le chapitre premier.

[1] Sur un réseau de tramways il peut se produire facilement des écarts de voltage de 40 à 50 volts.

(a). *Transformation du courant continu à haute tension en courant continu à* 500 *volts.*

Les distributions de ce genre ne sont pas susceptibles d'un grand avenir, en raison des difficultés que présentent la production et le transport des courants continus à haute tension.

Il existe cependant de très intéressants transports de force, par courant continu à haute tension, comme par exemple ceux de Gênes, de Chaux-de-Fonds, de Saint-Ouen à Paris (Société anonyme d'éclairage et de force), etc.

Deux procédés surtout sont en usage :

Ou bien l'on emploie une dynamo réceptrice, alimentée directement par le courant à haute tension et actionnant une dynamo génératrice à 500 volts.

Ou bien on monte en série un certain nombre de dynamos réceptrices, par exemple quatre pour un courant à 2 000 volts, chacune d'elles n'absorbant alors que 500 volts. Dans ce cas, réceptrices et génératrices sont identiques alors qu'avec le premier système il faut des réceptrices spéciales, supérieurement isolées.

(b). *Transformation du courant alternatif à haute tension en courant continu à* 500 *volts.* — Ce système est employé à Rome. Le courant alternatif est fourni par une usine hydraulique située à Tivoli (à 25 km de Rome) et amené à la station de la Porta Pia, par une ligne aérienne double à quatre conducteurs. Des transformateurs abaissent la tension de 4 300 volts à 430 volts et envoient le courant dans des con-

vertisseurs Ganz qui donnent du courant continu à 500 volts.

Une batterie d'accumulateurs Tudor de 1 000 ampères-heure a été installée en dérivation sur les barres du tableau, tant pour utiliser la puissance des convertisseurs que pour régulariser leur marche.

Ces convertisseurs comprennent des inducteurs, traversés par du courant continu emprunté à la batterie d'accumulateurs et un induit à tambour connecté, d'une part avec deux bagues (comme un alternateur ordinaire) d'autre part avec un collecteur (comme une dynamo à courant continu). En envoyant le courant alternatif à 430 volts dans les deux bagues l'appareil fonctionne comme un moteur alternatif synchrone ; mais, par le fait même que l'induit tourne dans un champ magnétique, il donne, au collecteur, du courant continu.

Les moteurs à courant alternatif synchrones ont, comme on le sait, l'inconvénient de ne pouvoir démarrer sous charge. On est donc obligé, pour communiquer aux convertisseurs leur impulsion première, d'avoir recours à une disposition spéciale. Elle consiste à les faire marcher comme moteurs à courant continu, en lançant par les balais du collecteur du courant emprunté à la batterie d'accumulateurs. Et c'est seulement lorsque la machine a pris sa vitesse qu'on peut la faire fonctionner comme convertisseur.

Les convertisseurs employés à Rome, qui sont actuellement au nombre de quatre, ont une puissance de 25 kilowatts. Grâce à la batterie d'accumulateurs, la tension se

maintient aux barres du tableau, avec une constance remarquable.

(c). *Transformation des courants polyphasés à haute tension en courant continu à 500 volts.* — Les appareils transformateurs sont analogues aux précédents, mais ils démarrent seuls, en vertu des propriétés bien connues des moteurs à champ tournant [1].

On paraît disposé à employer, pour ces sortes de distributions, des courants triphasés, de préférence aux courants biphasés, parce qu'ils se transportent plus économiquement [2].

Une des installations les plus intéressantes rentrant dans cette catégorie est celle de Lowell-Nashua (Etats-Unis). Ces deux villes sont distantes de 25 km. Le courant triphasé est produit dans l'usine de Lowell, qui alimente aussi directement un réseau de tramways à 500 volts. Et, ce qu'il y a de curieux, c'est que ce sont les mêmes dynamos qui produisent à la fois du courant continu et du courant triphasé. La tension de ce dernier courant n'est que de 360 volts. On l'élève à 5 500 volts dans une chambre fermée à clef, à l'aide de transformateurs statiques branchés sur une ligne aérienne à trois conducteurs. A Nashua on procède à une opération inverse, c'est-à-dire que le courant triphasé, abaissé à 360 volts, est lancé dans des dynamos identiques à celles de

[1] Voir chapitre VII.

[2] L'économie de cuivre est d'au moins 25 p. 100.

Lowell. Ces dynamos, qui sont réversibles, produisent alors du courant continu à 500 volts.

L'ensemble de ces dispositions, qui se caractérise par une grande uniformité dans le matériel, présente encore un avantage précieux ; c'est d'exclure les hautes tensions de tout appareil en mouvement.

La même usine de Lowell alimente aussi une seconde station de transformation à Eayr's Mills.

Une distribution par courants triphasés et courants continus à 500 volts existe encore à Dublin[1].

(d) *Transformation des courants polyphasés à haute tension en courants polyphasés à basse tension.* — Ce que nous avons dit du choix des courants triphasés s'applique également ici, d'autant plus que les moteurs à courants triphasés coûtent généralement moins cher que les moteurs à courants biphasés.

Une distribution de ce genre se fait à Lugano (Suisse). Le courant triphasé à haute tension (5000 volts) est produit dans une usine hydraulique située à Maroggia, à 12 km de la ville. La ligne, qui est aérienne, est constituée par 3 fils de cuivre de 5 mm de diamètre que soutiennent par des isolateurs des poteaux en bois espacés d'environ 25 m. La station de transformation est la simplicité même. Elle se réduit à un transformateur pour courant triphasé, système Brown, qui réduit la tension à 400 volts. Sur les trois fils de

[1] Les transformateurs sont constitués par un moteur à champ tournant actionnant une dynamo à courant continu à 500 volts.

départ l'un va aux rails. La tension de 400 volts doit s'entendre, ainsi qu'il a été expliqué au chapitre premier, entre le fil de terre et chacun des deux autres. Entre le centre des trois phases elle n'est que de 231 volts.

Avec ce système, un poste de transformation peut être laissé sans surveillance.

Les transformateurs tournants exigent, au contraire, la présence à peu près permanente d'un ouvrier.

CHAPITRE IX

DÉPENSES

Dépenses de premier établissement : (*a*) Tramways à conducteurs aériens; (*b*) Tramways à conducteurs souterrains; (*c*) Tramways à conducteurs interrompus, établis au niveau du sol ; (*d*) Voitures ; (*e*) Usines. — Dépenses d'exploitation. — Comparaison avec les autres systèmes de traction.

Dépenses de premier établissement. — (a). *Tramways à conducteurs aériens.* — Nous considérerons d'abord la *voie* proprement dite comprenant rails, terrassement, fondations, pavage, etc., puis l'*équipement électrique* dans lequel rentrent les poteaux, les fils aériens, les connexions électriques, etc.

Le prix de la voie varie beaucoup suivant le poids des rails, suivant que l'on exige ou non une fondation en béton, suivant que l'on impose une fourniture de pavés neufs ou que l'on emploie les matériaux existants, etc.

Les prix ci-après sont seulement donnés à titre d'indication. Ils se rapportent à la voie normale (largeur entre rails 1,44 m).

	Prix du km de voie simple
Voie Vignole sur accotement de route, avec rails de 20 kg y compris ballast et traverses.	22 000 fr. [1]

[1] Avec des rails de 26 kg (ce qui serait préférable) la dépense atteindrait 25 000 fr.

	Prix du km de voie simple
Voie Broca avec rails de 36 kg directement posés sur le sable dans une chaussée pavée avec réemploi de matériaux	26 000 —
La même avec pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0,50 m à droite et à gauche	60 000 —
Voie Broca avec rails de 44 kg reposant sur une fondation en béton, y compris un pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0,50 m à droite et à gauche	85 000 —[1]
Voie Marsillon avec rails de 41 kg reposant sur une fondation en béton, y compris un pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0,50 m à droite et à gauche	96 000 —[2]

Pour la *voie double*, il faut doubler les chiffres précédents.

Dans le prix de l'*équipement électrique*, un élément très variable est constitué par les poteaux. On n'accepte pas généralement en Europe de poteaux en bois. Ceux qui sont le plus souvent employés sont des poteaux tubulaires en fer ou acier. Un poteau métallique convenable coûte environ 300 fr. mis en place. On obtiendra le prix du km de ligne (voie simple) en ajoutant à la dépense de poteaux, calculée à raison de 50 poteaux par km, une somme de 7 000 fr. pour le matériel électrique (conducteurs, isolateurs, haubans, connexions des rails) et pour la pose.

Pour une voie double, la dépense relative aux poteaux et aux haubans tendeurs reste la même. Il faut seulement ajouter les connexions électriques de la seconde voie, le deuxième fil aérien et ses isolateurs. C'est une somme d'environ 4 000 francs.

[1] Prix de Paris.
[2] Prix de Paris.

Quand la ligne est supportée par des poteaux consoles, il ne faut plus que 25 poteaux par km. S'il s'agit d'une ligne à simple voie on adoptera des consoles à un seul bras (350 fr. pièce), ce qui mettra le prix du km à 15 750 fr., soit 16 000 fr. Au contraire, pour une ligne à double voie, on emploiera des consoles doubles. En partant d'un prix de 450 fr. par console on aura à ajouter par km d'abord 7 000 fr. puis 4 000 fr., puisque la voie est double.

On arrive ainsi aux prix suivants, qui ne sont donnés, comme ceux de la voie proprement dite, qu'à titre d'indication et pour les cas particulièrement envisagés :

PRIX DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE LIGNE A CONDUCTEURS AÉRIENS PAR KM

Voie simple avec poteaux métalliques	22 000 fr.
Voie double — —	26 000 —
Voie simple avec poteaux-consoles.	17 000 —
Voie double — —	21 000 —

Ces évaluations sont faites pour la voie courante. En admettant que les sujétions particulières (aiguillages, courbes, imprévus) conduisent à un supplément de dépenses de 10 p. 100, les prix ci-dessus deviendraient respectivement, en arrondissant, 25 000 fr., 29 000 fr., 19 000 fr., 23 000 fr.

Enfin on doit compter en plus la dépense propre à l'établissement des feeders. Celle-ci est éminemment variable, puisqu'il y a des lignes qui n'en comportent pas. Au Havre elle a atteint 5 000 fr. par km[1]. Sur des réseaux très

[1] Renseignements fournis par la Société Thomson-Houston.

chargés, elle s'élèverait rapidement à 10000 et même 15000 fr. par km.

(b). *Tramways à conducteurs souterrains.* — Peu de chiffres précis ont été publiés jusqu'ici.

Aux Etats-Unis on considère qu'une ligne de tramways à conducteurs souterrains coûte, par mille de voie simple, environ 50 000 dollars, ce qui met le km à 155 000 fr. En supposant que la voie proprement dite coûte 74 000 fr.[1], le caniveau avec ses conducteurs reviendrait ainsi à 81 000 fr., soit 93 000 fr. en ajoutant 15 p. 100 pour les courbes, les aiguillages et les imprévus[2].

A Budapest, le caniveau construit par la maison Siemens a coûté, en plus de la voie, environ 50 000 fr. par km de voie simple. Le même système appliqué à Berlin, dans les conditions indiquées au chapitre IV, a comporté, sans les aiguillages, une dépense de 60 000 fr. Enfin la Compagnie nouvelle d'électricité évalue le km de voie courante du caniveau installé rue de Châteaudun à 75 000 fr. En ajoutant, comme nous l'avons fait pour le caniveau américain, 15 p. 100 pour les courbes, les aiguillages et les imprévus, on arriverait pour ce dernier caniveau, au chiffre de 86 000 fr.

La Compagnie Thomson donne pour son caniveau un prix encore plus élevé : 100 000 fr. en voie courante, soit

[1] Ce prix est celui que donne M. Fairchild dans son ouvrage *Street Railways*.

[2] Il s'agit d'un caniveau analogue à ceux de Washington. Un caniveau tel que le nouveau caniveau Love de New-York coûterait certainement plus cher.

115 000 fr. avec les 15 p. 100 habituels. Mais ce prix paraît pouvoir être réduit.

Nous avons décrit, chapitre IV, le caniveau en acier que construit la Société des Usines de Hœrde. Ce caniveau est évalué par elle à 42 000 fr. par km de voie simple pour la fourniture seulement. En ajoutant 10 000 fr. pour la pose et 15 p. 100 pour les courbes, aiguillages et imprévus, on atteindrait 60 000 fr.

Tous ces prix s'appliquent à la voie simple. On devra les doubler pour la voie double. Les feeders sont à compter en plus.

Il nous reste enfin à examiner le prix de revient d'une galerie visitable. Celle de la Société d'Études françaises et étrangères est évaluée, sans la voie, mais y compris les travaux spéciaux de chaussée, à 200 000 fr par km, soit 230 000 fr en ajoutant 15 p. 100 comme dans les évaluations précédentes. Ce chiffre se rapproche sensiblement de celui du double caniveau. Mais si, en raison de la profondeur de la galerie, on est obligé d'approfondir ou de dévier les égouts existant sous les voies de tramways, on arrivera à des dépenses beaucoup plus élevées. C'est ainsi que pour la ligne de la place Cadet à la porte de Montmartre on prévoit en réfections d'égout, déplacements de conduites d'eau ou de gaz, etc... une somme dépassant 100 000 fr par km.

Il convient de remarquer que dans les rues larges et à grande circulation, les égouts ne sont généralement pas placés sous les voies de tramways[1]. Dans ces conditions, la

[1] Ils se trouvent alors sous les trottoirs, un de chaque côté de la rue.

dépense afférente à l'établissement de la galerie proprement dite n'aurait rien d'excessif surtout si, comme nous l'avons indiqué au chapitre IV, on se contentait d'une galerie à section réduite.

Avec une ligne à simple voie l'emploi d'une galerie serait moins avantageux puisque la dépense qu'elle comporte est sensiblement la même, qu'il s'agisse d'une ligne à simple ou double voie.

(c). *Tramways à conducteurs interrompus établis au niveau du sol.* — Ces tramways sont encore trop récents pour que l'on puisse connaître exactement le prix auquel ils reviennent. On peut dire qu'il est intermédiaire entre le prix d'un tramway à trolley et celui d'un tramway à conducteurs souterrains.

Comme limites, nous indiquerons les deux prix suivants que les constructeurs donnent pour le système Diatto et pour le système Westinghouse : 30 000 fr pour le premier et 60 000 fr pour le second, par km de voie simple indépendamment de la voie et des feeders.

(d). *Voitures.* — Une voiture de 50 places à 2 moteurs de 20 à 25 chevaux coûte de 20 000 à 23 000 fr ; les petites automobiles de 28 à 32 places de 15 000 à 18 000 fr (2 moteurs de 15 ou 20 chevaux).

Ce ne sont là que des prix approximatifs, car il peut exister d'assez grands écarts suivant l'ameublement des voitures, leur décoration, etc.

Un moteur de 25 chevaux coûte environ 4500 fr.

Pour calculer la dépense de matériel à faire sur une ligne d'une longueur donnée, il faut évaluer le nombre de voitures qu'il est nécessaire de mettre en service par kilomètre. Ce nombre dépend de la vitesse moyenne et de l'intervalle des départs. Le tableau suivant permet de trouver instantanément, pour chaque cas, le nombre des voitures sur une ligne de 10 km :

DÉPART toutes les	VITESSE MOYENNE EN KM PAR HEURE									
	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1 minute.	100	86	75	67	60	50	40	30	24	20
2 —	50	44	38	33	30	25	20	15	12	10
3 —	33	29	25	22	20	17	13	10	8	7
4 —	25	22	19	17	15	13	10	8	6	5
5 —	20	17	15	13	12	10	8	6	5	4
6 —	17	14	13	11	10	8	7	5	4	3
7 —	14	12	11	10	9	7	6	4	3	3
8 —	13	11	9	8	8	6	5	4	3	3
10 —	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2
15 —	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1
20 —	5	4	4	3	3	3	2	2	1	1
30 —	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1

Pour une voie double, il faut doubler les chiffres du tableau.

Dans le cas de la *traction par accumulateurs*, une voiture de 50 places, à impériale couverte, avec sa batterie, coûte environ fr 30 000. La batterie de rechange (quand il en est fait usage) revient à fr 5 000.

(e). *Usines.* — Nous avons montré comment l'on pouvait

calculer la puissance en *chevaux* de l'usine, soit en déterminant la puissance réellement nécessaire pour la traction des voitures, soit en partant du nombre de voitures en service sur le réseau.

Rapportée au cheval, la dépense de premier établissement d'une usine diminue évidemment au fur et à mesure que la puissance augmente. Comme limites extrêmes (unités de 80 à 100 chevaux et unités de 1 000 chevaux et au-dessus), on peut adopter les évaluations ci-après :

DÉPENSES PAR CHEVAL

Moteurs et chaudières de.	300 fr. à	150 fr.
Matériel électrique.	250 —	200 —
Maçonnerie et bâtiment	250 —	150 —
Total de	800 fr. à	500 fr.

Quelquefois, on évalue la dépense de l'usine en partant du nombre des voitures en service. Comme première approximation on pourra adopter, par voiture de 50 places à 2 moteurs de 25 chevaux, les chiffres suivants (réserve comprise) :

36 000 fr. pour une petite installation.
24 000 fr. pour une moyenne installation.
16 000 fr. pour une importante installation.
12 000 fr. pour une très importante installation.

Avec la traction par accumulateurs l'usine coûte de 12 000 à 16 000 fr par voiture.

Dépenses d'exploitation. — Les dépenses d'exploitation s'évaluent par *voiture-kilomètre*. Afin de pouvoir comparer

commodément la traction électrique aux autres systèmes de traction, on a pris l'habitude de calculer à part les dépenses de *traction proprement dite*. Dans ces dépenses rentrent :

La production du courant électrique;

L'entretien de l'usine, du matériel roulant et des dépôts;

L'entretien des connexions électriques des rails (mais non l'entretien de la voie);

Le salaire du personnel de conduite (mais non celui du personnel de perception).

Le prix de revient de la traction varie selon les villes de fr 0,20 à fr 0,30. Exemples : Boston fr 0,24, Cincinnati fr 0,22, Le Havre fr 0, 24, Clermont-Ferrand fr 0,24, Marseille fr 0,26[1], Genève fr 0,257, Leeds fr 0,27, etc.

Une moyenne, établie pour 22 lignes américaines, a donné les résultats suivants :

Entretien de la ligne et de l'usine centrale. . . .	fr. 0,015
Force motrice.	0,061
Entretien du matériel roulant.	0,066
Personnel de conduite.	0,066
Total.	fr. 0,208

Ce chiffre serait un peu faible pour une exploitation européenne. En général, les Sociétés garantissent un prix de traction de fr 0,25[2].

Un élément important à considérer, dans le prix de

[1] Si l'on veut tenir compte des frais de pilotage, ce chiffre doit être augmenté de fr 0,0282.

[2] On a garanti au Havre fr 0,245.

revient de la traction, c'est le salaire du personnel de conduite. Il est naturellement plus élevé dans les grandes villes que dans les petites. Il peut varier de fr 0,05 à fr 0,10.

Aux dépenses de traction proprement dites il faut ajouter :

1° La dépense d'entretien des voies ;

2° Les frais de perception ;

3° Les frais divers et généraux.

La dépense d'entretien des voies peut varier du simple au double, suivant la nature du revêtement, l'intensité de la circulation, etc..... On a atteint, en 1895, fr 0,02 au Havre, fr 0,028 sur la ligne de Bordeaux-Bouscat au Vigean, fr 0,04 à Marseille. On peut prendre fr 0,03, comme moyenne, pour une ligne ordinaire.

Les frais de perception sont d'environ fr 0,07 par voiture-kilomètre.

Quant aux frais divers et généraux, ils peuvent atteindre facilement de fr 0,08 à fr 0,12.

Dans ces conditions la voiture-kilomètre de 50 places, tout compris, reviendrait de fr 0,40 à fr 0,50[1]. Comme moyenne on pourra admettre fr 0,45 se décomposant en :

Dépenses de traction proprement dite (y compris le personnel de conduite)	fr. 0,25
Entretien de la voie.	0.03
Frais de perception.	0,07
Frais divers et généraux.	0,10
Total.	fr. 0,45

[1] A ce sujet on consultera avec intérêt les prix suivants qui nous ont été

Dans ces évaluations ne figurent pas les frais d'amortissement et de renouvellement du matériel. On n'est pas encore très bien fixé sur la durée du matériel employé pour la traction électrique des tramways. En admettant, comme le font certaines sociétés, que l'on doive amortir le matériel roulant en 10 ou 15 ans et le matériel fixe en 20 ou 30 ans, on aura à compter sur une dépense de fr 0,10 à fr 0,15 par voiture-kilomètre. La voiture-kilomètre reviendrait ainsi, y compris les frais généraux et d'amortissement, de fr 0,55 à fr 0,60.

Il reste entendu que ces chiffres n'ont rien de fatidique. Ils pourront au contraire varier notablement, selon les conditions d'établissement et d'organisation des réseaux.

Les prix que nous venons de donner s'appliquent à des lignes à conducteurs aériens. Avec des conducteurs souter-

obligeamment communiqués par la Compagnie générale française de tramways.

Tramways du Havre (1895)

Dépenses de traction.	fr.	0,2443
Entretien de la voie.		0,0195
Frais de perception		0,0796
Frais divers et généraux.		0.1134
Total.	fr.	0,4568

Tramways de Marseille (1895)

Dépenses de traction (y compris pilotage). .	fr.	0,2882
Entretien de la voie		0,0434
Frais de perception		0,0690
Frais divers et généraux.		0,1038
Total.	fr.	0,5044

Comme ligne exploitée économiquement nous pouvons citer la ligne de Bordeaux-Bouscat au Vigean, qui a donné pour 1895 :

Dépenses de traction.	fr.	0,190
Entretien de la voie		0,028
Frais de perception		0,078
Frais divers et généraux		0,078
Total.	fr.	0,374

rains, les frais de traction sont sensiblement les mêmes[1]. Mais l'infrastructure nécessite des dépenses d'entretien un peu plus fortes en même temps que l'on a à amortir un capital de premier établissement beaucoup plus considérable.

On a encore peu de renseignements sur le prix de revient de la voiture-kilomètre avec conducteurs établis au niveau du sol. La Compagnie Westinghouse garantit, pour les dépenses de traction, un prix de fr 0,30.

Avec les accumulateurs on obtient naturellement des prix plus élevés. C'est ainsi que la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine accuse pour la traction avec ses voitures, ancien type, les dépenses ci-après ;

	1894	1895
Force motrice.	0,1741	0,2060
Entretien et manutention des accumulateurs	0,1522	0,1543
Personnel de conduite	0,0782	0,0787
Entretien des trucks, commutateurs, etc.	0,0589	0,0534
Dépenses diverses.	0,0075	0,0166
Totaux.	0,4709	0,5040

Avec les nouvelles voitures, les frais de manutention et d'entretien des accumulateurs, qui atteignent dans les sous-détails précédents des chiffres élevés (environ un tiers de la dépense totale), se trouvent notablement réduits. D'après M. Sarcia ils s'abaisseraient à fr 10. En outre, les voitures

[1] Prix de revient de la voiture-kilomètre sur les lignes de Budapest, pendant les années 1894-1895.

Dépenses de traction. .	fr.	0,185
Entretien de la voie. .		0,038
Frais de perception . .		0,068
Frais généraux et divers.		0,129
Total. . .	fr.	0,420

étant moins lourdes et ayant de meilleurs moteurs consommeraient moins de force motrice (fr 0,15 environ). Les dépenses de traction n'atteindraient plus dès lors que fr 0,40, environ.

Les accumulateurs à charge rapide (voiture du 3e type) fonctionnent depuis trop peu de temps pour que l'on puisse connaître exactement le prix de leur entretien. Mais la Compagnie qui les exploite a passé avec la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine un traité de traction par lequel elle lui garantit un prix moyen inférieur à fr 0,40 par voiture-kilomètre.

Comparaison avec les autres systèmes de traction. — Il est aujourd'hui reconnu que la traction électrique (du moins la traction par conducteurs aériens ou souterrains) est, d'une manière générale, sensiblement plus économique que tout autre système.

D'abord sa supériorité sur la traction à chevaux est évidente puisque, avec ce dernier système, la voiture-kilomètre revient, pour la traction seulement, au moins deux fois plus cher qu'avec l'électricité (de fr 0,50 à fr. 0,60). En outre la traction par chevaux se prête peu à une exploitation intensive et, dès que le profil est accidenté, elle devient forcément très lente. C'est d'ailleurs un système universellement condamné et l'on peut prévoir qu'avant peu la grande majorité des lignes de tramways sera à traction mécanique.

Les principaux systèmes de traction mécanique employés, en dehors de l'électricité, sont :

La *traction funiculaire* (surtout employée en Amérique);

La *traction avec moteur à vapeur* (locomotives avec ou sans foyer, moteur Serpollet);

La *traction à air comprimé;*

La *traction avec moteur à gaz.*

Lorsqu'il s'agit d'une exploitation extraordinairement intensive (comme sur certaines lignes de New-York où les voitures se suivent à 80 ou 100 m d'intervalle), la traction funiculaire donne des résultats très économiques. Mais les dépenses de premier établissement sont très élevées (fr 500 000, au moins, par kilomètre de voie double). En outre le travail nécessaire pour vaincre le frottement du câble prend une importance excessive dès que le tracé devient un peu sinueux[1]. Aux Etats-Unis, ce système ne se développe plus[2]. Quelques Compagnies abandonnent même définitivement le câble pour la traction électrique par conducteurs souterrains, en utilisant les caniveaux mêmes de leurs funiculaires.

La traction à vapeur ou à air comprimé[3] n'est avanta-

[1] A Denver (États-Unis) on a trouvé qu'une courbe de 90° absorbait, avec un rayon de 16,764 m, 20,64 chevaux. En alignement droit il faut par km de câble 5,25 chevaux.

A Chicago, sur une ligne de 8 km, le câble absorbe, à lui seul, à la vitesse de 15,5 km, une puissance de 184 chevaux.

[2] En effet, alors que pendant ces dernières années le réseau des tramways électriques s'est augmenté de plus de 2 000 km chaque année (il dépasse aujourd'hui 17 000 km), les lignes à traction funiculaire ont passé de 1 051 km en 1895 à 1 020 km en 1896.

[3] Sur les *tramways nogentais* (air comprimé), la voiture-kilomètre revient, pour la traction seulement à fr. 0,44, en moyenne. On obtient un prix encore plus élevé sur les lignes de la Compagnie des omnibus où l'on emploie également l'air comprimé.

La Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine donne, pour sa ligne Étoile-Courbevoie, où circulent des locomotives sans foyer, un prix de revient de fr. 0,4115 en 1894 et fr. 0,4007 en 1895, pour la traction seulement, par voiture-kilomètre de 50 places.

geuse que lorsque l'on peut former de véritables trains, ce qui ne peut être admis en général dans une grande ville, étant donné que l'intérêt du public est de disposer de voitures légères, rapides et à départs très rapprochés[1].

Les moteurs Serpollet conviennent mieux pour des automobiles. Mais ils ont l'inconvénient d'évacuer dans les rues des gaz irrespirables et d'odeur peu agréable, sans compter qu'ils mettent la traction à un prix notablement plus élevé qu'avec l'électricité (fr 0,43, à Paris, pour la voiture-kilomètre[2]).

Quant aux tramways à gaz, leur apparition est encore trop récente pour que l'on puisse formuler des conclusions fermes à leur égard. On évalue le prix de revient de la voiture-kilomètre à fr 0,420[3]. C'est donc plus qu'avec l'électricité. En outre les moteurs à gaz n'auront jamais la souplesse et l'élasticité des moteurs électriques.

Ainsi se trouve corroboré ce que nous disions plus haut de la supériorité de l'électricité.

Evidemment, lorsqu'il s'agit d'appliquer un système de

[1] Nous n'insistons pas, en ce qui concerne les locomotives à foyer, sur les inconvénients que présente leur circulation dans les rues.

[2] Tramways de Paris et du département de la Seine. Année 1895.

Production de la vapeur.	fr.	0,1746
Personnel de conduite		0,1035
Entretien des machines et générateurs.		0.1366
Dépenses diverses.		0,0181
Total.		0,4328

[3] Voir le *Génie civil*, du 29 décembre 1895.

Consommation de gaz (à 0 fr. 30 le m³).	fr.	0,264
Personnel de conduite.		0,080
Entretien des voitures.		0,076
Total.	fr.	0,420

traction mécanique on est souvent guidé par des considérations autres que ses qualités intrinsèques et les compagnies se préoccupent, avant tout, d'adopter telle combinaison qui présentera pour elles le plus d'avantages, étant données la nature et la durée de leurs contrats. Aussi ne peut-on pas dire que l'électricité doive être appliquée par tous et dans tous les cas. Mais, presque toujours, dès qu'il s'agira d'une exploitation suffisante et rationnellement établie, c'est elle qui constituera la solution la plus économique et qui sera accueillie avec le plus de faveur par la population.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE IV

DISTRIBUTION DU COURANT PAR CONDUCTEURS SOUTERRAINS

CHAPITRE V

DISTRIBUTION DU COURANT PAR CONDUCTEURS INTERROMPUS ÉTABLIS AU NIVEAU DU SOL

CHAPITRE VI

TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

CHAPITRE VII

MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE VIII

STATIONS CENTRALES POUR LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE IX

DÉPENSES

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

